

FACULTAD DE INFORMÁTICA



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Grado en Ingeniería de Computadores

Valoración automática del Índice Barthel para seguimiento de
actividad física en personas mayores

Automatic assessment of the Barthel Index for monitoring physical activity in
the elderly

Agustín Jofré Millet

Curso académico: 2019 / 2020

Trabajo de fin de grado del Grado en Ingeniería de Computadores

Director:

Jorge J. Gómez Sanz

Resumen en castellano

En este trabajo de fin de grado se aborda el desarrollo de sistema para monitorizar la actividad de las personas mayores en relación con su grado de dependencia. Una forma de hacerlo es usar el Índice de Barthel, un cuestionario de actividades que indica de forma cuantitativa el grado de dependencia de una persona y que se rellena manualmente. En este trabajo se propone hacerlo de forma automática. Para ello se ha utilizado una placa embebida BeagleBone Green, junto con un acelerómetro digital. Por lo que ha sido necesario conocer el funcionamiento de dicho sensor, así como la señal de salida a la que se le ha tenido que aplicar diferentes filtros.

El sistema se ha conectado a través del protocolo MQTT a un servidor para almacenar los datos procesados y enseñarlos en una aplicación web escrita en REACT. Esta aplicación esta destinada para el uso profesional de centros de mayores (residencias, centros de día, etc.). El software se distribuye bajo licencia MIT y está disponible en <https://github.com/mos-JM/TFG>

Palabras clave

Sistema embebido, ABVD, acelerómetro, BeagleBone, MQTT, React, HAR, Índice de Barthel.

Abstract

In this end-of-degree work, we address the development of a system to monitor the activity of the elderly and their different degrees of dependency. One way to do this is use the Barthel Index, an activity questionnaire that quantitatively indicates the degree of dependency of a person and that is filled out manually. In this work we propose to do it automatically. For this purpose, a BeagleBone Green embedded plate has been used, together with a digital accelerometer. Therefore, it was necessary to know how this sensor works, as well as the output signal to which different filters had to be applied.

The system has been connected through the MQTT protocol to a server to store the processed data and teach it in a web application written in REACT. This application is intended for the professional use of senior centers (residences, day centers, etc.). The software is distributed under the MIT license and is available in the URL <https://github.com/mos-JM/TFG>.

Keywords

Embedded system, BADL, accelerometer, BeagleBone, MQTT, React, HAR, Barthel Index.

Índice general

Índice	I
Agradecimientos	VII
Dedicatoria	VIII
1. Introducción	1
1.1. Objetivo	4
1.2. Método	5
1.3. Estructura del documento	6
2. Introduction	8
2.1. Objective	11
2.2. Method	11
2.3. Document structure	12
3. Estado del Arte	14

3.1. Introducción	14
3.2. Actividad física en personas mayores	14
3.2.1. Índice de Barthel	15
3.3. IoT y Monitorización	18
3.3.1. Sistema embebido	19
3.3.2. Sensores	21
3.4. Colocación del acelerómetro	23
4. Especificación de requisitos software	25
4.1. Introducción	25
4.2. Actores del sistema	25
4.3. Requisitos funcionales.	26
4.4. Rellenar IB e IBAA.	27
4.5. Sistema IoT y Servicio web	29
4.5.1. Administrador	31
4.5.2. Usuario	34
4.5.3. Paciente	38
4.6. Requisitos no funcionales de desarrollo	40

5. Arquitectura	44
5.1. Introducción	44
5.2. Elementos arquitectónicos	44
5.3. Sistema IoT	46
5.3.1. BeagleBone	46
5.3.2. Conector MQTT	47
5.4. HAR - IBAA	47
5.4.1. Servicio de procesamiento HAR	48
5.4.2. Servicio HAR-IBAA	48
5.4.3. Servicio de gestión de pacientes y almacenamiento	50
5.5. Ordenador personal sanitario	51
5.5.1. Navegador	51
5.6. Flujo de datos entre componentes para clasificación de actividad	52
6. Interfaz externa. Pantallas del sistema	55
6.1. Login en la aplicación	55
6.2. Gestión pacientes	56
6.2.1. Alta paciente	57

6.2.2. Listado Pacientes	57
6.3. Resultados	59
6.3.1. Índice de Barthel	61
7. HAR e IBAA	63
7.1. Colocación del acelerómetro	63
7.2. BeagleBone	64
7.2.1. Acelerómetro	65
7.3. Pre-Procesado	66
7.3.1. Servicio de procesamiento de datos	66
7.4. Segmentación de datos	67
7.5. Selección y generación de características	67
7.5.1. Servicio de características HAR	68
7.6. Servicio de procesamiento HAR	69
7.7. Servicio de HAR-IBAA	71
8. Experimentación.	74
8.1. Despliegue	74

8.1.1. Montaje prototipo de pruebas	75
8.1.2. Colocación del acelerómetro	75
8.1.3. Procesado y clasificación	76
8.2. Caso de estudio	79
8.2.1. Datos del acelerómetro y visualización en tiempo real	80
8.2.2. Clasificación de la capacidad física con el IBAA	82
8.2.3. Evolución del paciente	83
9. Conclusiones y trabajo futuro	86
9.1. Trabajo Futuro	87
10. Conclusions and future work	89
10.1. Future work	90
Bibliography	97
A. Guia de instalación	98
A.1. Instalación en microcontrolador	98
A.2. Instalación base de datos	99

B. Guia de utilización	102
B.1. Aplicación	102
B.2. Recnocimiento HAR	103
B.3. Envío y recepción de datos	103
B.3.1. Publisher	103
B.3.2. Subscriber	104

Agradecimientos

Después de un intenso período de trabajo escribo este apartado de agradecimiento. Ha sido un periodo de aprendizaje, tanto a nivel académico como personal. Por todo esto me gustaría agradecer a todos los que me acompañaron en esta etapa, en especial a mi pareja Carmen que siempre me ha apoyado para seguir formándome y aprendiendo.

Y a todos los profesores que me han acompañado durante toda la carrera, en especial a Jorge, mi tutor.

¡Muchas gracias a todos!

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mi abuela Genoveva y a todas las personas que de una manera u otra sufren de problemas funcionales y no pueden continuar con sus vidas o actividades del día a día.

También se lo dedico a Carmen que me ha apoyado durante toda la carrera y que sin ella tal vez esto no hubiera sido posible.

Capítulo 1

Introducción

Actualmente la mayor parte de la población tiene una esperanza de vida igual o superior a 83 años ¹⁶. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) entre el año 2015 y 2050 el porcentaje de los habitantes del planeta mayores de 60 años se duplicará. La ampliación de la esperanza de vida ofrece oportunidades como emprender nuevas actividades, iniciar una nueva profesión o retomar antiguas aficiones. Además, las personas mayores contribuyen de muchos modos a sus familias y comunidades. Sin embargo, el alcance de esas oportunidades y contribuciones depende en gran medida de un factor muy importante: la salud. Para mantener la salud se recomienda el mantenimiento de hábitos de vida saludables, siendo uno de ellos la realización de actividad física regular. Las organizaciones sanitarias recomiendan que los adultos mayores de 65 años realicen 150 minutos de actividad física semanal.

La especial situación de las personas mayores, determinada por el envejecimiento fisiológico y la forma de presentación de la enfermedad, hacen necesaria la aplicación de un sistema especial de valoración. Este sistema, conocido como valoración geriátrica integral, es un proceso estructurado que pretende detectar problemas o necesidades a través de la valoración clínica, funcional, psíquica y social mediante métodos tradicionales (anamnesis y exploración

física) y el uso de instrumentos más específicos denominados escalas de valoración ¹⁰.

Ninguna de estas escalas permite realizar una medición de la actividad física de forma precisa y objetiva. Una medición precisa de la actividad física podría utilizarse para establecer objetivos, dar a los médicos orientación sobre el estado físico de un paciente, reajustar la terapia y estimar las demandas restantes para alcanzar un nivel de actividad suficiente ³¹. También permitiría una documentación objetiva del progreso de la rehabilitación, además, podría ayudar a valorar si un paciente es capaz de vivir de forma independiente después del alta y proporcionaría pruebas de la necesidad de continuar o adaptar la rehabilitación ^{18,19}.

La valoración funcional incluye tres componentes: las actividades básicas de la vida diaria (ABVD), que hacen referencia a aquellas actividades indispensables para la supervivencia, las actividades instrumentales de la vida diaria (AIVD), que son necesarias para vivir de manera independiente, y la capacidad de movilidad ¹⁷. La importancia de la valoración funcional radica en que los ancianos con alteración de la funcionalidad tienen mayor posibilidad de requerir ingresos hospitalarios, mayor mortalidad y mayor consumo de recursos, e incluso esta valoración puede predecir futuras discapacidades ¹⁷.

Para valorar estas actividades se dispone de cuestionarios y escalas validadas, que pueden no resultar útiles si su aplicación resulta difícil, compleja o costosa. Las más utilizadas para evaluar la dependencia de un paciente son: el índice de actividades de la vida diaria (KATZ), Índice de Barthel (IB), escala de incapacidad física de la Cruz Roja, escala Plutchik, el índice de Lawton y Brody, entre otros ¹⁰.

Se celebró un taller previo a la 67ª Convención Anual de la Sociedad Gerontológica de América para discutir los desafíos que supone evaluar con precisión la actividad física en las personas mayores. La llegada de nuevas tecnologías para medir la actividad física (por

ejemplo, acelerómetros) ha creado la oportunidad de observar, cuantificar y reconocer la actividad física (HAR Human Activity Recognition) en el mundo real. Esto nos permite comprender la asociación de actividad física con el envejecimiento y los efectos que esta tiene sobre la salud.

Gracias al desarrollo de sensores, como acelerómetros, se puede automatizar la recogida de datos correspondientes a la actividad física, obteniendo resultados más objetivos ¹⁵.

Gran parte de las investigaciones llevadas a cabo hasta la fecha sobre el tipo de dispositivo, colocación e interpretación de los datos, se han realizado en poblaciones jóvenes y saludables, y la traducción de estos métodos a poblaciones de edad avanzada sigue siendo compleja.

El deterioro funcional es el predictor más fiable de un mal pronóstico en las personas mayores, independientemente de los diagnósticos clínicos. El Índice de Barthel es la escala de valoración funcional más empleada en la práctica clínica ³³, especialmente en los ancianos, ya que valora la capacidad de realizar ABVD y la capacidad física, imprescindible para evaluar el estado de salud de un paciente.

Algunas de las limitaciones que presenta el IB son problemas en la recogida de datos (siendo más difícil y laborioso en adultos ancianos), no diferencian la discapacidad física de la cognitiva, no detectan cambios sutiles (efecto suelo techo), no presentan mediciones objetivas (paciente cansado, asustado, con deterioro cognitivo o incomprensión del lenguaje) y suponen un esfuerzo de realización o coste de tiempo de los profesionales ²¹.

Existen estudios que analizan cada ítem por separado para proponer un IB simplificado. Por ejemplo, en uno de los estudios, la valoración de los ítems de deambular y subir y bajar

escaleras obtuvo validez en el cribado de la dependencia de pacientes hospitalizados ⁹.

Este proyecto se centra en el IB, por ser la escala más empleada, y propone rellenar de forma automática dos actividades relacionadas con la capacidad física, **traslados** y **deambulación**, con el uso de acelerómetros. El uso de éstos y los sistemas de interconexión digital de objetos con internet (Internet de las cosas o en ingles, Internet of Things IoT) permiten obtener datos más precisos sobre la actividad física que realiza una persona e incluirlos en un IB adaptado, dando como resultado una valoración global y más precisa de este grupo poblacional.

1.1. Objetivo

El objetivo principal se centra en crear un sistema que permita cuantificar la actividad física que realiza una persona, automatizando el cálculo de alguno de los ítems del IB relacionados con la actividad física como **deambular** y **trasladarse**, proporcionando así a los profesionales sanitarios esa información que les permita evaluar el progreso individual y ajustar la terapia o prorrogar la rehabilitación, de manera mas simple y reducir los costes y limitaciones.

Para ello se plantean varios objetivos secundarios:

- Identificar maneras fiables de tomar mediciones de forma correcta con sensores de aceleración, las frecuencias de muestreo necesarias y poder interpretar los resultados.
- Una vez realizadas las correctas mediciones, adaptar parte del índice de Barthel a mediciones o secuencias de mediciones para automatizar actividad física del IB.

- Reducir algunas limitaciones del IB, automatizando el análisis de la actividad física, reduciendo los tiempos de encuesta y mejorar pautas y terapias.
- Mejorar la salud de los pacientes con la actividad física.
- Crear una estructura que permita a terceros analizar y estudiar los datos obtenidos del movimiento utilizando el índice de Barthel (IB) y los sensores de aceleración.

1.2. Método

Para afrontar los objetivos mencionados, se orientará el trabajo de manera progresiva:

- Entender el funcionamiento de los sistemas de IoT para monitorizar la actividad física y clasificar los resultados en función del grado de dependencia que tengan.
- Generación de características. Para el reconocimiento de actividades la generación y selección de características es un paso importante. Se espera que los datos en crudo de sensores, sin procesar, contengan información relevante y se usen para la primera etapa de generación de datos. Para realiza esto se dividen las muestras en tamaños de ventana más pequeños representados en el dominio del tiempo.
- Adaptar la sección de actividad física del IB con los datos de acelerometría.

Se podrá clasificar, empleando el IB, el tipo de dependencia de cada uno y junto con los datos de acelerometría, el tipo de actividad que podrían realizar.

El software se distribuye bajo licencia MIT y está disponible en <https://github.com/mos-JM/TFG>

1.3. Estructura del documento

A continuación, se detalla la estructura del documento que va en relación con las etapas a seguir:

- Estudio del estado del arte:

Análisis de los sensores existentes, en nuestro caso acelerómetros, así como ordenadores de placa única de prototipado rápido. Una vez analizado se seleccionará el sistema más apropiado para la implementación del proyecto.

Estudio del IB, los ítems que lo componen y como se interpretan, capacidades y limitaciones.

- Especificación de requisitos:

Descripción de los casos de uso que componen el sistema y su interacción con los actores del sistema.

- Arquitectura:

Descripción detallada de la arquitectura y los elementos arquitectónicos que dan funcionalidad a los casos de uso.

- Interfaz externa:

En este capítulo se muestra las pantallas que conforman la interfaz de usuario descrita en los casos de uso.

- Flujo para el elemento HAR e IBAA:

En este capítulo se explica el proceso para captar el reconocimiento de actividad humana (en ingles, Human Activity Recognition HAR) y el calculo del Índice de Barthel Adaptado al Acelerómetro (IBAA) a partir del HAR.

- Experimentación;

Este capítulo desarrolla dos caso de uso desde el despliegue y calibración para HAR hasta su ejecución.

- Conclusión y trabajo futuro:

Resumen de las conclusiones a las que se ha llegado, los problemas encontrados y aplicaciones que puedan dar una mejor funcionalidad al proyecto.

Capítulo 2

Introduction

Currently most of the population has a life expectancy equal or greater than 83 years ¹⁶. According to the World Health Organization (WHO) between 2015 and 2050 the percentage of the planet's inhabitants over the age of 60 will double. The extension of life expectancy offers opportunities such as starting new activities, starting a new profession or taking up old hobbies. Furthermore, older people contribute in many ways to their families and communities. However, the extent of these opportunities and contributions largely depends on a very important factor: health. To maintain health, the maintenance of healthy lifestyle habits is recommended, one of them is practice regular physical activity. Health organizations recommend that adults over 65 years carry out 150 minutes of physical activity weekly.

The special situation of older people, determined by physiological aging and the way that disease is presented, makes necessary applying a special assessment system. This system, known as comprehensive geriatric assessment, is a structured process that aims to detect problems or needs through clinical, functional, psychological and social assessment through traditional methods (anamnesis and physical examination) and the use of more specific instruments called scales of assessment. ¹⁰.

None of these scales allows a precise and objective measurement of physical activity. An accurate measurement of physical activity could be used to set goals, give clinicians guidance on a patient's physical condition, readjust therapy, and estimate remaining demands to achieve a sufficient level of activity ³¹. It would also allow objective documentation of the progress of rehabilitation, in addition, it could help decide if a patient is able to live independently after discharge and would provide evidence of the need to continue or adapt rehabilitation ^{18,19}.

The functional assessment includes three components: the basic activities of daily life (BADL), which refer to those activities essential for survival, the instrumental activities of daily life (IADL), which are necessary to live independently, and capacity moving ¹⁷. The importance of functional assessment is that the elderly with impaired functionality are more likely to require hospital admissions, higher mortality and greater consumption of resources, and even this assessment can predict future disabilities ¹⁷.

Validated questionnaires and scales are available to assess these activities, which may not be useful if their application is difficult, complex or expensive. The most commonly used to assess a patient's dependency are: the activities of daily living index (KATZ), Bartel index (BI), Red Cross physical disability scale, Plutchik scale, Lawton and Brody index, among others ¹⁰.

A workshop was held prior before the 67th Annual Convention of the Gerontological Society of America to discuss the challenges of accurately assessing physical activity in older people. The advent of new technologies to measure physical activity (e.g. accelerometers) has created the opportunity to observe, quantify and recognize physical activity (HAR Human Activity Recognition) in the real world. This allows us to understand the association of physical activity with aging and its effects on health.

Thanks to the development of sensors, such as accelerometers, the collection of data corresponding to physical activity can be automated, obtaining more objective results¹⁵.

Much of the research to date on device type, data placement, and interpretation has been conducted in young, healthy populations, and the translation of these methods to older populations remains complex.

Functional decline is the most reliable predictor of a poor prognosis in older people, regardless of clinical diagnoses. The Barthel Index is the most widely used functional assessment scale in clinical practice³³, especially in the elderly, since it assesses the ability to perform ABVD and physical capacity, essential for evaluating a patient's health status.

Some of the limitations presented by the IB are problems in data collection (being more difficult and laborious in elderly adults), they do not differentiate physical from cognitive disability, they do not detect subtle changes (ceiling-floor effect), they do not present objective measurements (tired, scared patient, with cognitive impairment or language misunderstanding) and represent a realization effort or time cost for professionals²¹.

There are studies that analyze each item separately to propose a simplified IB. For example, in one of the studies, the evaluation of the items of wandering and going up and down stairs was valid in the screening of the dependency of hospitalized patients⁹.

This project focuses on the IB, as it is the most widely used scale, and proposes to automatically fill in two activities related to physical capacity, **transfers** and **walking**, with the use of accelerometers. The use of these and the systems of digital interconnection of objects with the Internet (Internet of Things IoT) allow obtaining more precise data on the physical activity that a person carries out and including them in an adapted IB, resulting in a global and more precise assessment of this population group.

2.1. Objective

The main objective is to create a system that allows quantifying a person's physical activity, automating the calculation of some of the IB items related to physical activity, such as **transfer** and **mobility**, providing healthcare professionals with that information that It allows evaluating individual progress and adjusting therapy or extending rehabilitation, in a simpler way and reducing costs and limitations.

For this, several secondary objectives are proposed:

- Identify reliable ways to take measurements correctly with acceleration sensors, the required sample rates, and be able to interpret the results.
- Once the correct measurements are made, adapt part of the Barthel index to measurements or measurement sequences to automate BI physical activity.
- Reduce some BI limitations, automating the analysis of physical activity, reducing survey times and improving guidelines and therapies.
- Improve patient health with physical activity.
- Create a structure that allows others analyze and study the data obtained from the movement using the Barthel index (BI) and the acceleration sensors.

2.2. Method

To face the aforementioned objectives the work will be progressively oriented:

- Understand the functioning of IoT systems to monitor physical activity and classify the results based on the degree of dependency they have.
- Generation of characteristics. For the recognition of activities, the generation and selection of characteristics is an important step. Raw sensor data is expected to contain relevant information and be used for the first stage of data generation. To do this, the samples are divided into smaller window sizes represented in the time domain.
- Adapt the IB physical activity section with accelerometry data.

The type of dependency of each one can be classified, using the IB, and with the accelerometry data, the type of activity they could carry out.

The software is distributed under the MIT license and is available in <https://github.com/mos-JM/TFG>

2.3. Document structure

Next the structure of the document is detailed in relation to the steps to follow:

- State of the art study:
Analysis of existing sensors, in our case accelerometers, as well as single-board computers for rapid prototyping. Once analyzed, the most appropriate system for project implementation will be selected.
- Study of the BI, the items that compose it and how they are interpreted, capacities and limitations.

- Requirement specification:

Description of the use cases that make up the system and their interaction with the actors in the system.

- Architecture:

Detailed description of the architecture and architectural elements that give functionality to the use cases.

- External interface:

This chapter shows the screens that make up the user interface described in the use cases.

- Flow for the HAR and AABI element:

This chapter explains the process for capturing Human Activity Recognition (HAR) and calculating the Accelerometer Adapted Barthel Index (AABI) from HAR.

- Experimentation;

This chapter develops two use cases from deployment and calibration for HAR to execution.

- Conclusion and future work:

Summary of the conclusions that have been reached, the problems found and applications that can give better functionality to the project.

Capítulo 3

Estado del Arte

3.1. Introducción

Como hemos mencionado anteriormente, el uso de determinados dispositivos nos permite asociar la actividad física con el estado de salud de una persona, para evaluar los efectos de ésta sobre la salud.

El propósito de este capítulo es proporcionar una descripción general de los aspectos más destacados, tipo de dispositivos usado, sensores, desafíos metodológicos de emplear acelerómetros en poblaciones mayores y resumen de los proyectos de investigación que guardan una relación directa ³⁶.

3.2. Actividad física en personas mayores

El sedentarismo es un importante factor de riesgo modificable para una amplia variedad de enfermedades. ³⁵ La pregunta que nos hacemos es, ¿Qué tan activo es?, esta pregunta es difícil de responder para los pacientes. Por ello los test o cuestionarios se llevan utilizando

durante décadas para comprender los factores que facilitan o limitan la actividad física en la vida diaria. Estos test pueden estar sujetos a un nivel alto de sesgo, sobre todo en medición de actividades como caminar, subir y bajar escalas y tareas del hogar, que pueden ser difíciles de enmarcar y cuantificar como actividad física ^{29,30,34}. La actividad física que la mayoría de las personas mayores de 75 años realiza es caminar.

3.2.1. Índice de Barthel

El IB se comenzó a utilizar en los hospitales de enfermos crónicos de Matyland en 1955. (8. Wylie CM. Measuring end results of rehabilitation of patients with stroke. Public Health Rep 1967; 82: 893-898). Actualmente es la escala de valoración funcional más empleada, recomendada por la British Geriatrics Society ³³, y es útil en patologías en las que la función se recupera lentamente con rehabilitación. Predice con gran intensidad deterioro funcional, mortalidad, estancia hospitalaria y necesidad social.

El IB mide la capacidad de una persona para realizar 10 actividades de la vida cotidiana (Figura. 3.1), tanto cognitivas, como sociales y físicas, de esta manera se obtiene una estimación cuantitativa de su grado de dependencia.

El IB es una prueba simple de interpretar y con un alto grado de fiabilidad. Se trata de asignar a cada paciente una puntuación en función de su grado de dependencia. Los valores asignados a cada actividad dependen de la necesidad de ayuda para llevarlos a cabo. ²⁸ Las actividades básicas de la vida diaria incluidas en el índice son diez: comer, trasladarse entre la silla y la cama, aseo personal, uso del retrete, bañarse/ ducharse, desplazarse (andar en superficie lisa o en silla de ruedas), subir/bajar escaleras, vestirse/desvestirse, control de esfínteres ²⁸. EL IB puntúa la dependencia o independencia total o parcial en cada actividad con 0, 5, 10 o 15 puntos según la actividad. Según el puntaje global obtenido, se clasifica la

ÍNDICE DE BARTHEL, valora actividades básicas de la vida diaria (ABVD)

PARÁMETRO	SITUACIÓN DEL PACIENTE	PUNTOS
Comer	- Totalmente independiente	10
	- Necesita ayuda para cortar carne, el pan, etc.	5
	- Dependiente	0
Lavarse	- Independiente: entra y sale solo del baño	5
	- Dependiente	0
Vestirse	- Independiente: capaz de ponerse y de quitarse la ropa, abotonarse, atarse los zapatos	10
	- Necesita ayuda	5
	- Dependiente	0
Arreglarse	- Independiente para lavarse la cara, las manos, peinarse, afeitarse, maquillarse, etc.	5
	- Dependiente	0
Deposiciones (Valórese la semana previa)	- Continencia normal	10
	- Ocasionalmente algún episodio de incontinencia, o necesita ayuda para administrarse supositorios o lavativas	5
	- Incontinencia	0
Micción (Valórese la semana previa)	- Continencia normal, o es capaz de cuidarse de la sonda si tiene una puesta	10
	- Un episodio diario como máximo de incontinencia, o necesita ayuda para cuidar de la sonda	5
	- Incontinencia	0
Usar el retrete	- Independiente para ir al cuarto de aseo, quitarse y ponerse la ropa...	10
	- Necesita ayuda para ir al retrete, pero se limpia solo	5
	- Dependiente	0
Trasladarse	- Independiente para ir del sillón a la cama	15
	- Mínima ayuda física o supervisión para hacerlo	10
	- Necesita gran ayuda, pero es capaz de mantenerse sentado solo	5
	- Dependiente	0
Deambular	- Independiente, camina solo 50 metros	15
	- Necesita ayuda física o supervisión para caminar 50 metros	10
	- Independiente en silla de ruedas sin ayuda	5
	- Dependiente	0
Escalones	- Independiente para bajar y subir escaleras	10
	- Necesita ayuda física o supervisión para hacerlo	5
	- Dependiente	0
Total		

Figura 3.1: Índice de Barthel ²

funcionalidad de un paciente. La puntuación mínima es 0, y la máxima, 100. Puntuaciones entre 21 y 60 suponen un deterioro funcional graveo severo, entre 61 y 90 moderado, y leve entre 91 y 99 (Figura. 3.2).

La elección de las actividades que componen el IB fue empírica, a partir de las opiniones de fisioterapeutas, enfermeras y médicos. El IB, por tanto, no está basado en un modelo conceptual concreto. No existe un modelo teórico previo que justifique la elección

Puntaje	Clasificación
<20	Dependencia total
21 – 60	Dependencia severa
61 – 90	Dependencia moderada
91 – 99	Dependencia leve
100	Independencia

Figura 3.2: Puntaje y clasificación

de determinadas actividades de la vida diaria o la exclusión de otras ^{28,47}.

Fiabilidad.

La fiabilidad del IB no fue determinada cuando se desarrolló inicialmente. Se comprobó su fiabilidad mediante pruebas de concordancia. Para ello entrenaron a catorce terapeutas que puntuaron la realización de las actividades. De los resultados de este estudio se deduce una buena fiabilidad interobservador, con índices de Kappa entre 0,47 y 1,00. Con respecto a la fiabilidad intraobservador se obtuvieron índices de Kappa entre 0,84 y 0,97 ^{14,27}.

Interpretación del Índice de Barthel.

El rango de posibles valores del IB está entre 0 y 100, con intervalos de 5 puntos. La puntuación sugerida por Shah ³⁷ sobre la puntuación del IB es como la de la figura 3.2. También se encuentran jerarquizadas las actividades incluidas en el IB según la frecuencia con la que se observa independencia en su realización.

Capacidad para detectar cambios.

Uno de los motivos por lo que se creó el índice de Barthel fue para valorar la evolución de

los pacientes. El IB es capaz de detectar un progreso o deterioro en ciertos niveles del estado funcional ²⁸. Estos cambios no son detectados en situaciones extremas como se explica a continuación.

Limitaciones.

Como se menciona en el capítulo introductorio, las escalas de medición presentan ciertas limitaciones. Una es la limitación cognitiva por parte del paciente a la hora de recordar que actividad son capaces de realizar. Y otra es su limitada capacidad para detectar cambios en situaciones extremas ⁴³. Por ejemplo, si una persona con una puntuación de 0 cae en una situación de inconsciencia y por tanto en un mayor nivel de dependencia, el IB no cambia. Ocurre lo mismo en la parte mas alta de la escala. Estos inconvenientes no son especialmente problemáticos en la práctica clínica. También incidir en el coste de tiempo y esfuerzo de rellenar el IB y las mediciones que no son del todo objetivas.

Los sistemas de IoT puede ayudar paliar estas limitaciones; si separamos las actividades cognitivas de las físicas, los sistemas de IoT pueden ocuparse de estas últimas, porque es posible medir los ítems de **deambular** y **traslado** del IB. Esto reduce el tiempo dedicado por el profesional a rellenarlo, los datos de la actividad física serán más precisos y exactos, pudiendo detectar cambios sutiles a lo largo de un tratamiento rehabilitador.

3.3. IoT y Monitorización

El reciente desarrollo del Internet of Things (IoT) hace que todos los objetos estén interconectados. Algunas de las aplicaciones de IoT son estacionamientos, casas, ciudades inteligentes, aplicaciones industriales y agrícolas y en el de monitoreo de la salud.

Los avances en la monitorización brindan oportunidades para aumentar y refinar nuestra

comprensión de los beneficios para la salud de la actividad física mediante la evaluación de actividad diaria. Los acelerómetros usan sensores para detectar aceleraciones en uno de los tres planos ortogonales; anterior-posterior, medio lateral y vertical ¹¹. Estos sensores son relativamente pequeños, inalámbricos y no invasivos. La mayoría de los modelos tienen una batería de larga duración (30-45 días o más) dependiendo de la frecuencia de muestreo, lo que genera una evaluación objetiva de la actividad física ¹². Entender como funcionan los sensores de aceleración orientado al seguimiento de múltiples actividades. Para este estudio se utilizó un acelerómetro de 3 ejes H3LIS331DL que mide la aceleración con una frecuencia de 0.5 Hz a 1 kHz.

3.3.1. Sistema embebido

A la hora de elegir los componentes del sistema se tuvieron en cuenta varias opciones, aunque se partía con un ordenador de placa única BeagleBone Green facilitado por la facultad, igualmente se estudió la posibilidad de realizar el desarrollo con otro tipo de sistema.

Lo primero que se hizo fue descartar los microcontroladores. A pesar de sus ventajas, el rendimiento de estos es inferior a placas del estilo Raspberry o BeagleBone. Para este proyecto lo más conveniente es un microordenador, ya que permite hacer la recolección, procesamiento de datos y generación de características de manera óptima.

Se han analizado dos placas ARM que podrían encajar en el proyecto, como se muestra en la tabla 3.1.

■ BeagleBone:

SeeedStudio BeagleBone Green (BBG) (Fig.3.3), es una plataforma de desarrollo de bajo costo y de código abierto, que cuenta con una comunidad de desarrolladores. La

BBG incluye dos conectores Grove, lo que facilita la conexión de una gran familia de sensores. Se basa en el diseño de hardware de código abierto de BeagleBone Black. El HDMI se retira para dar lugar a conectores Grove⁴. La BeagleBone soporta varios sistemas operativos, desde un sistema Debian precargado en memoria EEPROM, hasta Ubuntu, Fedora, ArchLinux, etc. Se puede usar prácticamente cualquier lenguaje de programación como C, C++, Java, Python, JavaScript, Android, etc.



Figura 3.3: Placa Beaglebone Green de SeeedStudio.

■ Raspberry:

La RaspberryPi (Fig.3.4) también es un sistema embebido de bajo coste y comparte gran parte de la filosofía *open-source* y *open-hardware*. Para la elección del sistema de este proyecto se ha elegido la Raspberry Pi 3 y sus variantes.

La Raspberry cuenta con entradas y salidas de propósito general o GPIO (General Purpose Input/Output). Por defecto algunas entradas están configuradas para conexiones de interfaces UART, I2C y SPI. Todas configurables excepto los pines de alimentación y masas. Esto permite conectar al sistema tarjetas de expansión para propósitos determinados.

Desde la página web oficial de Raspberry se pueden descargar varios sistemas operativos. El sistema de uso general y que mas documentación aporta es Raspbian, una versión de Debian OS adaptado⁶.

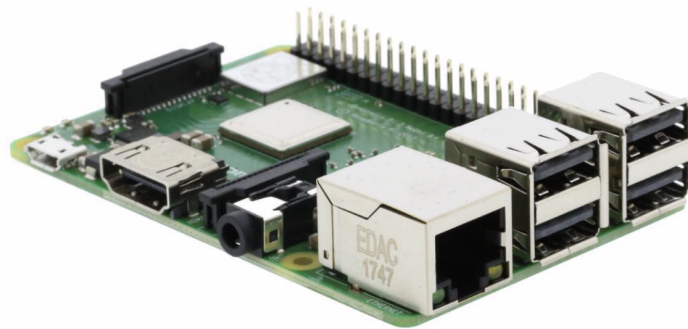


Figura 3.4: Placa Raspberry pi 3.

	BeagleBone Green	Raspberry Pi 3
Procesador	AM335x 1GHz ARMv7 Cortex-A8	1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8
RAM	512MB DDR3	1GB LPDDR2 SDRAM
Almacenamiento Flash	EMMC de 4GB	-
Soporte micro USB	Alimentación y comunicaciones	Alimentación y comunicaciones
USB	1	4
Conectores	2 (I2C y UART)	Puerto DSI, CSI y HDMI
GPIO	2 x 46 pines	17 x GPIO y un bus HAT ID
Ethernet	1	Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps)
Precio	36 Euros	35,99 Euros

Cuadro 3.1: Comparación microordenadores.

3.3.2. Sensores

Para este proyecto se ha empleado sensores para medir la aceleración. Existen diferentes tipos de acelerómetros; el más simple se construye uniendo una masa a un dinamómetro cuyo eje está en la misma dirección que la aceleración que se desea medir. De acuerdo a la Ley Fundamental de la Dinámica o segunda Ley de Newton ⁴⁴

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

donde F representa el vector fuerza resultante que actúa sobre la masa m , y a es el vector aceleración.

Actualmente es posible construir acelerómetros de tres ejes. (X,Y,Z) en un solo chip de silicio, incluyendo en el mismo la parte electrónica que se encarga de procesar las señales ⁴⁴.

Los acelerómetros son útiles para detectar vibraciones y movimiento en los sistemas. Son comúnmente usados para activar sistemas de protección de vehículos, para registrar actividad física en las personas, para aplicaciones de orientación en los dispositivos móviles, etc.

El sensor usado en este proyecto es Acelerómetro digital de 3 ejes ($\pm 400g$) de SeeedStudio (Figura. 3.5). El dispositivo cuenta con modos operativos de potencia ultra baja que permiten el ahorro de energía y una función de suspensión inteligente para despertarse. El H3LIS331DL cuenta con escalas completas seleccionables por el usuario de $\pm 100g$ / $\pm 200g$ / $\pm 400g$ de fuerza y es capaz de medir aceleraciones con una velocidad de datos de salida de 0.5 Hz a 1 kHz ⁵.

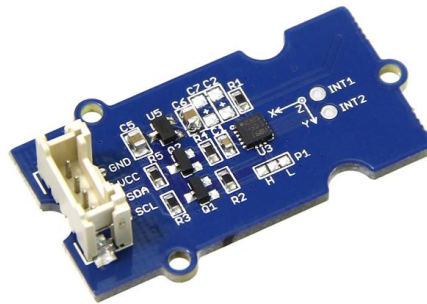


Figura 3.5: Acelerometro H3LIS331DL

Las características del dispositivo son las de la tabla.

Rango de potencia DC 3.3V a 5V
Baja potencia 300 μA a 3.3V
$\pm 100g / \pm 200g / \pm 400g$ escalable dinámicamente
Interfaz de salida digital I2C

Cuadro 3.2: Características del sensor H3LIS331DL.

3.4. Colocación del acelerómetro

Los datos de los sensores permiten extraer información sobre diferentes aspectos de la actividad, como la duración y el tipo de actividad realizada, que pueden o no respaldar el diagnóstico realizado con el IB y facilitar la toma de decisiones en la rehabilitación geriátrica.

Estas dos herramientas nos permitirán ver de forma mas objetiva y real la discapacidad o dependencia de una persona y ser capaces de ajustar su terapia dependiendo de los resultados.

Antes de poder extraer la información que nos proporciona el sensor de aceleración, es necesario saber el lugar donde colocarlo para obtener mejores resultados.

Los sitios más comunes para la ubicación del dispositivo incluyen cadera, muñeca, muslo y tobillo [3.6](#). La cadera ha sido el sitio mas utilizado ya que generalmente capta la mayor parte del movimiento asociado con los músculos más grandes del cuerpo y se relaciona con el gasto de energía [11,30,35,41](#).

Sin embargo, algunos estudios han demostrado que la cadera da lugar a problemas de cumplimiento, ya que mucho paciente se quitan el dispositivo. [42](#) Además, se utiliza una correa para sujetarlo y esto provoca que el dispositivo cambie de sitio a lo largo del día,

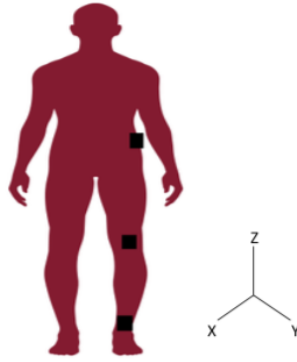


Figura 3.6: Colocación del Acelerómetro

llevándonos a un mayor error de medición.

La muñeca no dominante es una alternativa a la cadera, ya que generalmente aumenta el tiempo total de uso ⁴². En las poblaciones de edad avanzada y más sedentarias, esta colocación puede capturar actividades que son más consistentes con las tareas habituales de la vida diaria (i.e. cocinar, vestirse, tareas domésticas ligeras y, por tanto, proporcionar una imagen más completa de la actividad diaria ^{23 22}. Sin embargo, se debe tener precaución cuando se utiliza la colocación en la muñeca en poblaciones que utilizan dispositivos de asistencia como andadores; a menudo la muñeca permanece estacionaria cuando se camina.

Esto provoca un registro de datos erróneos. El muslo ha sido el sitio más popular, ya que permite al usuario discriminar entre actividades como sentarse, pararse y caminar, lo que proporciona una mayor discriminación entre las diferentes actividades ^{25 3}.

Viendo las diferentes alternativas de colocación, se prefiere hacerlo en el muslo, debido al tipo de población al que va destinado nuestro proyecto. Se descarta el tobillo por comodidad para los pacientes ⁴⁰.

Capítulo 4

Especificación de requisitos software

4.1. Introducción

En este capítulo se hace una descripción del comportamiento del sistema que se va a desarrollar. Se describe de forma detallada todas las interacciones que tendrán los actores con el software y los sistemas de IoT.

4.2. Actores del sistema

En la aplicación, existen tres tipos de actores:

- Sistema IoT: Representa al paciente con los sistemas de monitorización, encargado de generar los datos para clasificar las actividades de caminar y estar sentado. El paciente solo puede acceder a los resultados obtenidos.
- Usuario Registrado: Es el personal sanitario registrado en el sistema encargado de rellenar e interpretar los resultados del IB así como del IBAA. También, puede llevar

a cabo acciones tales como, visualización del historial de un paciente, agregar o eliminar pacientes de su lista y además gestionar su cuenta de usuario.

- **Administrador:** Este actor debe de estar registrado de manera manual en la base de datos (BD). Este usuario, una vez autenticado correctamente, lleva a cabo tareas de mantenimiento del sistema y es el único que puede dar de alta a usuarios sanitarios. Este usuario no tiene acceso a la información confidencial de cada paciente.

4.3. Requisitos funcionales.

El Diagrama de casos de uso, 4.1 representa el alcance de la aplicación.

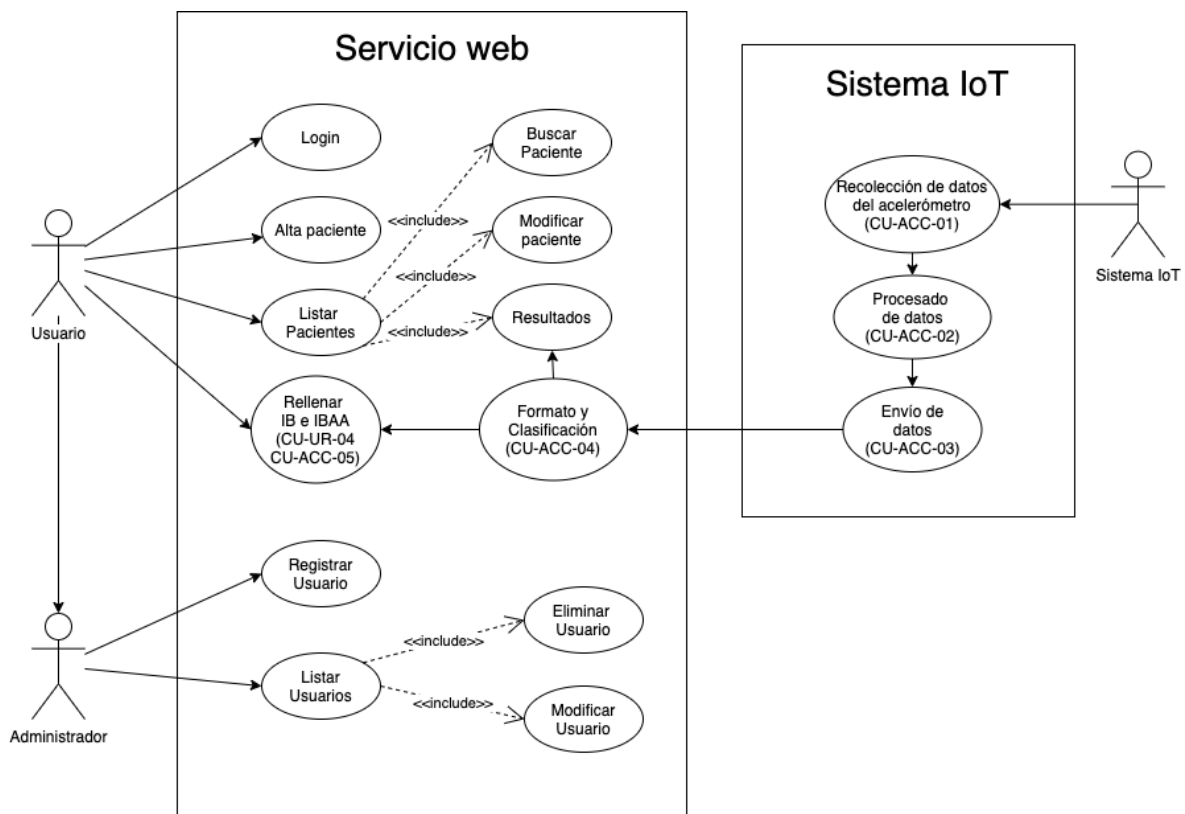


Figura 4.1: Diagrama de Casos de Uso.

Se distinguen dos sistemas en el diagrama, primero el sistema IoT donde se encuentran los casos de uso encargados de la recolección, procesado y envío de los datos y el sistema de servicio web encargado de la gestión de usuarios, clasificación de datos recibidos para el reconocimiento de actividad humana (en ingles, Human Activity Recognition, HAR) y relleno del Índice de Barthel Adaptado al Acelerómetro (IBAA) con los datos HAR.

A continuación, se describen los casos de uso representados en el diagrama. Primero se explican los casos más relevantes relacionados con el Índice de Barthel y el reconocimiento de la actividad de **caminar** y estar **sentado** y para finalizar los caso menos relevantes.

4.4. Rellenar IB e IBAA.

Para llevar a cabo el relleno del formulario, IB e IBAA, se distinguen dos casos. Primero, los ítems del IB que se rellena el sanitario mediante la entrevista clínica (Tabla 4.1) y segundo, los ítems caminar y estar sentado que se rellenan de manera automática en el IBAA con los datos procesados y clasificados del acelerómetro (Tabla 4.6).

El actor encargado de relleno el IB es el personal sanitario experto mediante una entrevista clínica al paciente o familiares. Esto se realiza de forma manual por el usuario para luego almacenar el resultado obtenido.

Rellenar funciones cognitivas del IB (CU-UR-04)	
Entrada	Datos del paciente
Descripción	El usuario rellena el IB, con los datos del paciente.
Dependencias	CU-UR-01 con postcondición de éxito
Precondición	Existe al menos un paciente asociado al usuario registrado
Postcondición	Se genera el resultado del IB obtenido.
Actores	Usuario registrado
Flujo del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario selecciona la opción de "Test Barthel". 2. El usuario rellena el test con los datos facilitados por el paciente. 3. El usuario selecciona, Calcular Resultado. 4. El usuario obtiene el resultado del IB.

Cuadro 4.1: Caso de uso: CU-UR-04

El IBAA se rellena de forma automática, gracias al reconocimiento HAR de las actividades caminar y estar sentado, con los datos clasificados (Tabla 4.6) que provienen del acelerómetro. Este resultado ayuda al usuario a contrarrestar los datos obtenidos en el área física del IB que ha rellenado previamente el profesional sanitario mediante la entrevista clínica (4.1).

Rellenar actividad física del IB (CU-ACC-05)	
Entrada	Datos clasificados
Descripción	Los items del IB se rellenan con los resultados de la actividad.
Dependencias	CU-ACC-04.
Precondición	Existen datos clasificados.
Postcondición	Se rellenan los items del IB.
Actores	Sensor de aceleración.
Flujo del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se leen los datos clasificados. 2. Se realiza el autocompletado del IB. 3. Items de actividad física rellenos.

Cuadro 4.2: Caso de uso: CU-ACC-05

4.5. Sistema IoT y Servicio web

A continuación, se explican los casos de uso menos relevantes para el sistema, aunque no menos importantes. Esos son los referentes a la recolección, tratamiento y clasificación de datos generados por el paciente (Sistema IoT) y los casos de uso que afectan al personal sanitario (usuario) y al administrador del sistema (Servicio web).

Recolección de datos.

Este caso de uso interacciona directamente con el actor del sistema IoT y se encarga de recibir los datos generados por el acelerómetro.

Recolección de datos (CU-ACC-01)	
Entrada	Datos recibidos del acelerómetro
Descripción	Se realiza recolección de datos del acelerómetro.
Dependencias	-
Precondición	El sistema IoT genera datos.
Postcondición	Datos recibidos correctamente.
Actores	Sensor de aceleración.
Flujo del evento	1. Se recogen datos en el acelerómetro. 2. Se reciben los datos del acelerómetro

Cuadro 4.3: Caso de uso: CU-ACC-01

Procesado de datos.

Posterior a la recolección de datos (Tabla 4.3) se realiza el procesado de datos para que los datos extraídos tengan cierta coherencia y se puedan interpretar.

Procesado de datos (CU-ACC-02)	
Entrada	Datos generados por el acelerómetro
Descripción	Se realiza procesado y selección de datos para su análisis.
Dependencias	CU-ACC-01
Precondición	Existen datos recibidos y no procesados.
Postcondición	Los datos se procesaron correctamente.
Actores	Sensor de aceleración.
Flujo del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Datos recibidos del microordenador. 2. Se filtran los datos para una correcta lectura. 3. Se generan características para HAR 4. Datos procesados correctamente

Cuadro 4.4: Caso de uso: CU-ACC-02

Envío de datos.

Este caso de uso es el encargado del envío de datos, procesados por el sistema (4.4), a la aplicación para su interpretación

Envío de datos (CU-ACC-03)	
Entrada	Datos Procesados
Descripción	Envío de datos generados y procesado por el sensor.
Dependencias	CU-ACC-02
Precondición	Existe datos procesados correctamente. Existen datos generandos por el acelerómetros.
Postcondición	Envio de datos correctamente.
Actores	Sensor de aceleración
Flujo del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. El acelerómetro genera datos. 2. El microordenador recibe los datos. 3. Se procesa y generan características de los datos 4. Envío de los datos.

Cuadro 4.5: Caso de uso: CU-ACC-03

Clasificación de los datos.

Los datos procesados y enviados por el microordenador se clasifican para el reconocimiento de actividad física humana (HAR). Este caso de uso tiene una relación con el caso de uso de la tabla 4.2, donde los datos clasificados se utilizan para rellenar el IBAA.

Clasificación datos (CU-ACC-04)	
Entrada	Datos Prcesados por el microordenador
Descripción	Se realiza clasificación de datos para el HAR.
Dependencias	CU-ACC-03.
Precondición	Existen datos procesados para realizar clasificación.
Postcondición	Clasificación de los datos.
Actores	Sensor de aceleración.
Flujo del evento	1. Se reciben los datos del microordenador. 2. Se aplica el algoritmo para clasificación HAR. 3. Datos clasificadcos correctamente.

Cuadro 4.6: Caso de uso: CU-ACC-04

4.5.1. Administrador

Este actor participa en los caso de uso de listar usuarios registrados (Tabla 4.7), registrar nuevo personal sanitario (Tabla 4.8), eliminar a un usuario existente (Tabla 4.9) y modificar los datos de un usuario existente (Tabla 4.10)

Listar usuarios.

La acción llevada a cabo por este caso de uso es listar a todos los usuarios registrados para posteriormente poder modificar sus datos o eliminar a un usuario.

Listar usuarios (CU-A-01)	
Entrada	N/A.
Descripción	Lista todos los usuarios registrados en el sistema.
Dependencias	CU-UR-01 con postcondición de éxito
Precondición	Existe al menos un usuario registrado.
Postcondición	Se listan los usuarios registrados en la BD.
Actores	Administrador
Flujo del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. El administrador accede con su usuario. 2. El administrador selecciona la opción de listar usuarios. 3. El sistema lista en la pantalla todos los usuarios registrados.

Cuadro 4.7: Caso de uso: CU-A-01

Registrar usuarios

El administrador del sistema puede insertar nuevos usuarios en el sistema, siempre y cuando no existan en la base de datos.

Registrar usuarios (CU-A-02)	
Entrada	Nuevo usuario.
Descripción	Permite registrar nuevos usuarios en el sistema.
Dependencias	-
Precondición	El usuario a registrar no existe.
Postcondición	Usuario registrado.
Actores	Administrador
Flujo del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. El administrador accede con su usuario. 2. El administrador selecciona la opción de registrar nuevo usuario. 3. El sistema registra al nuevo usuario con éxito en la BD.

Cuadro 4.8: Caso de uso: CU-A-02

Eliminar usuarios

Este caso de uso realiza la acción específica de eliminar un usuario existente. Para eliminar un usuario se obtiene el listado de pacientes (Tabla 4.7) y se selecciona el paciente a borrar.

Eliminar usuarios (CU-A-03)	
Entrada	Usuario seleccionado.
Descripción	Permite eliminar usuarios del sistema.
Dependencias	CU-UR-01 CU-A-01 - CU-A-02
Precondición	El usuario a eliminar existe.
Postcondición	Usuario eliminado.
Actores	Administrador
Flujo del evento	1. El administrador accede con su usuario. 2. El administrador selecciona la opción de listar usuarios. 3. El administrador selecciona y elimina el usuario. 4. El sistema devuelve un mensaje de éxito de borrado.

Cuadro 4.9: Caso de uso: CU-A-03

Modificar usuarios

Para realizar la acción de modificar los datos de un usuario primero se genera el listado de pacientes (Tabla 4.7). Una vez se obtiene, se editan los datos deseados del usuario seleccionado.

Modificar usuarios (CU-A-04)	
Entrada	Usuario seleccionado.
Descripción	Permite modificar usuarios dentro del sistema.
Dependencias	CU-UR-01 CU-A-01 - CU-A-02
Precondición	El usuario a eliminar existe.
Postcondición	Usuario modificado.
Actores	Administrador
Flujo del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. El administrador accede con su usuario. 2. El administrador selecciona la opción de listar usuarios. 3. El administrador selecciona editar usuario. 4. El sistema devuelve un mensaje de existo de edición.

Cuadro 4.10: Caso de uso: CU-A-04

4.5.2. Usuario

Este actor participa en los casos de uso de iniciar sesión en la aplicación (Tabla 4.11), dar de alta a un nuevo paciente (Tabla 4.12), listar pacientes (Tabla 4.13) y rellenar el Índice de Barthel (Tabla 4.1). El caso de uso listar pacientes contiene los casos de uso de buscar (Tabla 4.14) , modificar (Tabla 4.15) y ver resultados de un paciente (Tabla 4.16).

Login.

Un usuario registrado cuenta con las credenciales para poder ingresar en la aplicación, siempre que exista en la base de datos.

Login (CU-UR-01)	
Entrada	Email del usuario que se desea autenticar. Contraseña del usuario.
Descripción	Permite a un usuario autenticarse en el sistema.
Dependencias	-
Precondición	Se introduce email y contraseña No se ha iniciado sesión
Postcondición	Si el usuario existe en la BD y la contraseña es correcta, el usuario iniciara sesión. Si el email y/o contraseña no son correctos, no se inicia sesión.
Actores	Usuario registrado, Administrador
Flujo del evento	1. El usuario selecciona la opción de <i>Login</i> . 2. El usuario introduce su email y contraseña en los campos correspondiente. 3. El usuario selecciona <i>Entrar</i> . 4. El usuario queda autenticado si los datos son correctos

Cuadro 4.11: Caso de uso: CU-UR-01

Alta pacientes

Un usuario registrado en la aplicación (Tabla 4.11) puede dar de alta a un nuevo paciente siempre que este no exista en la base de datos.

Alta pacientes (CU-UR-02)	
Entrada	Nombre, Apellidos, DNI, Fecha de Nacimiento, Notas, Otros
Descripción	Permite a un usuario registrado dar de alta a un paciente.
Dependencias	CU-UR-01 con postcondición de éxito
Precondición	El paciente no tiene que estar ya dado de alta
Postcondición	Nuevo paciente insertado con éxito.
Actores	Usuario registrado
Flujo del evento	1. El usuario selecciona la opción de <i>Alta paciente</i> . 2. El usuario introduce los datos del nuevo paciente. 3. El usuario selecciona Registrar nuevo paciente". 4. El nuevo paciente queda registrado.

Cuadro 4.12: Caso de uso: CU-UR-02

Listar pacientes.

El usuario obtiene una lista con todos los pacientes relacionados a su identificador. Para ello debe estar registrado (Tabla 4.11) y debe existir al menos un paciente asociado a su identificador.

Listar pacientes (CU-UR-03)	
Entrada	N/A
Descripción	Permite a un usuario registrado listar todos los pacientes asociados a su ID.
Dependencias	CU-UR-01 con postcondición de éxito
Precondición	Existe al menos un paciente asociado al usuario registrado
Postcondición	Se listan todos los pacientes asociados al usuario
Actores	Usuario registrado
Flujo del evento	1. El usuario selecciona la opción de <i>Listado pacientes</i> . 2. El sistema lista todos los paciente localizados.

Cuadro 4.13: Caso de uso: CU-UR-03

Buscar paciente.

Este caso de uso esta incluido dentro del caso de uso listar pacientes (Tabla 4.13). El usuario registrado busca a un paciente concreto en el listado de pacientes.

Buscar paciente (CU-UR-05)	
Entrada	Nombre y apellidos del paciente a buscar
Descripción	Permite a un usuario registrado, buscar un paciente determina dentro de la lista
Dependencias	CU-UR-01 con postcondición de éxito, CU-UR-03
Precondición	Existe al menos un paciente asociado al usuario registrado
Postcondición	Se listan los paciente que conciden con los datos introducidos.
Actores	Usuario registrado
Flujo del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario selecciona la opción de <i>Listado pacientes</i>. 2. Introduce en la casilla de búsqueda los datos del paciente. 3. Se listan los pacientes que coinciden con los datos introducidos.

Cuadro 4.14: Caso de uso: CU-UR-05

Modificar paciente.

Este caso de uso esta relacionado con el caso de uso listar pacientes (Tabla 4.13). El usuario puede editar un paciente de la lista, siempre que al menos exista uno.

Modificar paciente (CU-UR-06)	
Entrada	N/A o Nombre y apellidos del paciente a buscar
Descripción	Permite a un usuario registrado modificar los datos de un determinado paciente
Dependencias	CU-UR-01 con postcondición de éxito, CU-UR-03
Precondición	Existe al menos un paciente asociado al usuario registrado.
Postcondición	Datos del paciente modificados correctamente.
Actores	Usuario registrado
Flujo del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario selecciona la opción de <i>Listado pacientes</i>. 2. El usuario selecciona el paciente de la lista o introduce en la casilla de búsqueda los datos del paciente. 3. El usuario selecciona editar paciente. 4. El usuario modifica los datos del paciente y selecciona <i>Aceptar</i>. 5. Los datos del paciente se actualizan en el sistema.

Cuadro 4.15: Caso de uso: CU-UR-06

Resultados del paciente.

Este caso de uso también está relacionado con el caso de uso listar pacientes (Tabla 4.13). El usuario puede ver los resultados de actividad del paciente, actividad realizada e Índice de Barthel Adaptado al Acelerómetro (IBAA), siempre que exista al menos un paciente en el listado.

Resultados del paciente (CU-UR-07)	
Entrada	N/A o Nombre y apellidos del paciente a buscar
Descripción	Permite a un usuario registrado ver los resultados de la actividad realizada.
Dependencias	CU-UR-01 con postcondición de éxito, CU-UR-03, CU-ACC-04.
Precondición	Existe al menos un paciente asociado al usuario registrado.
Postcondición	Se muestra información con los resultados de la actividad del paciente seleccionado.
Actores	Usuario registrado
Flujo del evento	1. El usuario selecciona la opción de <i>Listado pacientes</i> . 2. El usuario selecciona el paciente de la lista o introduce en la casilla de búsqueda los datos del paciente. 3. El sistema muestra los resultados de dicho paciente.

Cuadro 4.16: Caso de uso: CU-UR-07

4.5.3. Paciente

Este actor puede realizar las acciones de ingresar a la aplicación (Tabla 4.17) y ver sus resultado de actividad (Tabla 4.18).

Login paciente.

Para iniciar sesión en la aplicación este actor debe disponer de las credenciales de acceso y estar asociado a un usuario registrado.

Login paciente (CU-P-01)	
Entrada	Nombre y contraseña facilitado por el usuario
Descripción	Permite a un paciente o familiar acceder al sistema para ver informes y resultados.
Dependencias	-
Precondición	Estar dado de alta como paciente y poseer los datos de acceso facilitados por el usuario.
Postcondición	Si el paciente esta dado de alta en la BD y los datos introducidos son correctos, inicia sesión. Si los datos introducidos no son correctos, no inicia sesión.
Actores	Paciente dado de alta.
Flujo del evento	1. El paciente selecciona la opción de <i>Login</i> . 2. Introduce los datos facilitados por el usuario. 3. El sistema muestra los resultados del paciente si los datos son correctos.

Cuadro 4.17: Caso de uso: CU-P-01

Resultados paciente.

El paciente puede acceder a sus resultados. Para ello debe iniciar sesión en la aplicación (Tabla 4.17). Al acceder con sus credenciales el paciente obtiene información sobre sus datos de actividad.

Resultados del paciente (CU-P-02)	
Entrada	N/A o Nombre y apellidos del paciente a buscar
Descripción	Permite a un paciente o familiar ver los resultados o informes propios.
Dependencias	CU-P-01
Precondición	Estar dado de alta como paciente.
Postcondición	Se muestra información con los resultados de la actividad del paciente.
Actores	Paciente dado de alta.
Flujo del evento	1. Paciente inicia sesión con los datos facilitados por el usuario. 2. El sistema muestra los resultados de dicho paciente.

Cuadro 4.18: Caso de uso: CU-P-02

4.6. Requisitos no funcionales de desarrollo

Para que los usuarios, en este caso los profesionales sanitarios, puede ver e interpretar los datos se han investigado diferentes opciones para desarrollar y unir los diferentes componentes del proyecto.

■ Aplicación web.

Para el desarrollo de la aplicación web en donde mostrar los datos se ha optado por utilizar JavaScript, debido a la poca versatilidad que ofrece HTML y CSS, que no permiten realizar tareas complejas. JavaScript es un lenguaje interpretado, orientado a objeto, imperativo, débilmente tipado y dinámico⁴⁵. Aunque puede suponer algunos riesgos para la seguridad del cliente³², las ventajas que aporta son altamente superiores, ya que permite disminuir la carga de operaciones del servidor. También permite agilizar muchos procesos, dando mayor velocidad y rendimiento a las aplicaciones web, siempre que se haga un buen uso de mismo.

■ React.

Es un framework de JavaScript, creado inicialmente por Facebook para resolver el desafío que implica el desarrollo de interfaces de usuario complejas con conjuntos de datos que cambian con el tiempo. React nació en realidad en la organización de anuncios de Facebook, donde utilizaban un enfoque Modelo-Vista-Controlador (MVC) de lado del cliente. React ayuda en la creación de interfaces de usuario interactivas. Permite el diseño de vistas simples para cada estado de la aplicación y se encarga de renderizar de manera eficiente los componentes correctos cuando los datos cambien. Esta biblioteca esta en componentes que manejan su propio estado. La lógica de los componentes esta escrita en JavaScript y no en plantillas, es posible pasar datos a través de la aplicación y mantener el estado fuera del DOM. React se compara con otros framework como Backbone, Knockout.js, AngularJS, Ember, CanJS, Dojo y numerosos framework MVC que existen²⁰. La siguiente figura 4.2 muestra un ejemplo de un framework MVC típico.

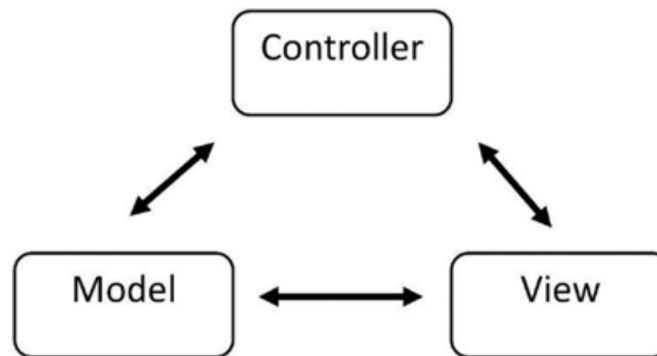


Figura 4.2: Arquitectura básica MVC.

■ Bootstrap.

Es una biblioteca multiplataforma de código abierto para el diseño de aplicaciones web. Dispone de plantillas predefinidas que facilitan la maquetación de una web. Consiste en un conjunto de documentos CSS que contienen clases para las etiquetas mas comunes HTML, incluyendo tipografías, botones, paneles, menús y casi todos los objetos HTML²⁶.

- **Plotly.**

También conocida por su URL, Plot.ly, es una empresa que desarrolla herramientas de visualización y análisis de datos en línea. Plotly proporciona herramientas de gráficos, análisis y estadísticas en línea, así como bibliotecas de gráficos científicos para Python, R, MATLAB, Perl, Arduino y REST⁴⁶. Cuenta con una librería declarativa de alto nivel construida en d3.js y stack.gl. Para su instalación se hace uso del sistema de gestión de paquetes para node.js (npm).

Ejecutando en el terminal 'npm install plotly.js --save' o clonando el repositorio de github³⁸.

- **MySQL.**

MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional. Es una base de datos de código abierto y popular para entornos de desarrollo web. Desarrollado en ANSI C y C++ y muy ligada a PHP. MySQL es un sistema de administración de bases de datos relacionales, es decir que archiva datos en tablas separadas en vez de colocar todos los datos en un gran archivo. Esto le da velocidad y flexibilidad. Las tablas están conectadas por relaciones definidas que hacen posible combinar datos de diferentes tablas. MySQL usa la licencia GPL (GNU General Public License).

- **MQTT, Paho.**

Paho es una herramienta que proporciona implementaciones de código abierto de protocolos de mensajería MQTT y MQTT-SN destinado a aplicaciones nuevas, existentes y emergentes para IoT (Internet of things). Paho utiliza el cliente MQTT version 3.1.1, la cual permite conexiones MQTT para publicar mensajes y suscribirse a temas y recibe mensajes publicados. Es compatible con Python 2.7.9+ o 3.4+.

El protocolo MQTT es un protocolo de conectividad máquina a máquina (M2M). Diseñado como un transporte de mensajes de publicación / suscripción liviana.

Para instalar la última versión estable se usa el comando: `pip install paho-mqtt`. Por otro lado, se puede clonar el código completo desde el repositorio git: `git clone https://github.com/eclipse/paho.mqtt.python`. Una vez clonado también se puede instalar desde el repositorio: `cd paho.mqtt.python python setup.py install`

Capítulo 5

Arquitectura

5.1. Introducción

En este capítulo se explica la arquitectura del sistema que obedece a los requisitos del [Capítulo 4](#). Se describe la transferencia e intercambio de datos entre los diferentes módulos y submódulos que componen la arquitectura y el procesamiento de datos que se hace típicamente en el sensor o en algún otro dispositivo cercano. Los datos procesados son enviados a un servidor para su almacenamiento y visualización.

5.2. Elementos arquitectónicos

Se pueden diferenciar dos marcos completamente separados pero conectados entre sí a través de MQTT, como se muestra en la [Figura 5.1](#). Cada uno tiene su función específica y sus propios componentes.

- Marco IoT. Aquí se encuentran los casos de uso de los sistemas IoT CU-ACC-01, CU-ACC-02 y CU-ACC-03 ([Sección 4.5](#)), sensores y actuadores que ayudan a interactuar

con el entorno físico, en nuestro caso el acelerómetro. Los datos recogidos por los sensores deben ser procesados, transformados y enviados a la aplicación para obtener inferencias útiles de ellos. De esto se encarga el microordenador BeagleBone.

- El marco HAR-IBAA (Human Activity Recognition e Índice de Barthel Adaptado al Acelerómetro respectivamente) presenta los servicios web de los casos de uso específicos que se encarga de recibir los datos transformados en el marco IoT. Esto se realiza con un conector MQTT encargado de recibir mensajes para su clasificación HAR (CU-ACC-04 [Sección 4.5](#)), relleno del IBAA (CU-ACC-05 [Tabla 4.4](#)) y los resultados de cada paciente (CU-UR-07 [Sección 4.5.2](#)). Los servicios de Gestión de pacientes se encargan de añadir nuevos pacientes, buscar en un listado de pacientes y modificar sus datos. El componente encargado de gestionar estos datos para su visualización es la capa web, que almacena y presenta los datos al navegador del personal sanitario.

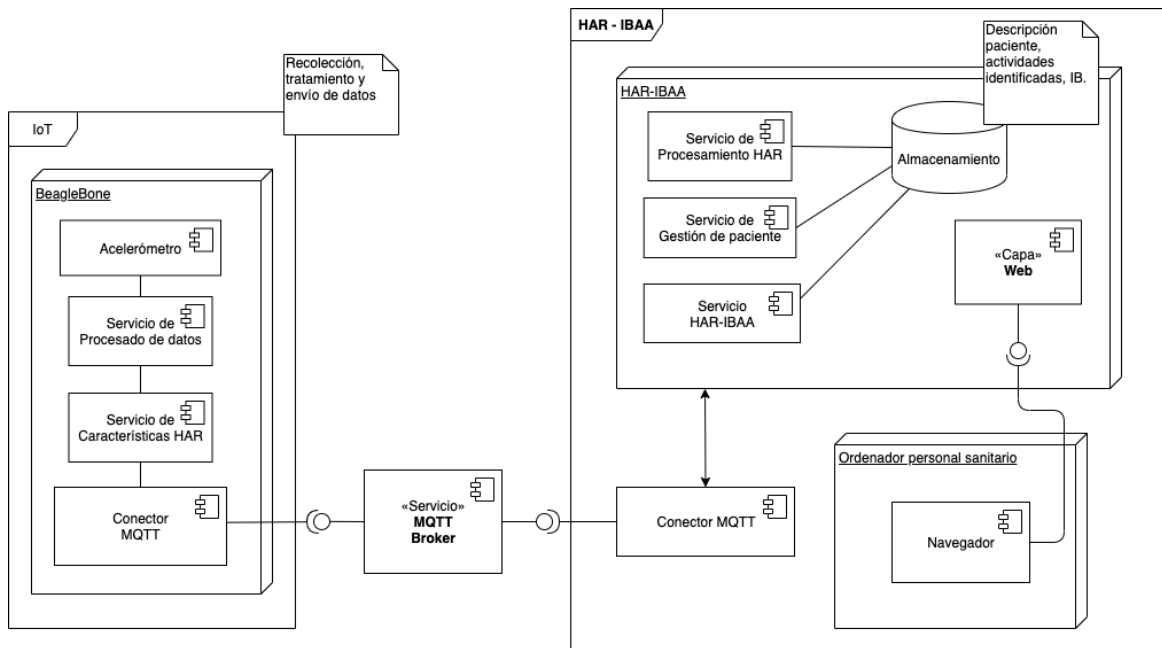


Figura 5.1: Arquitectura de la aplicación.

5.3. Sistema IoT

Todas las aplicaciones de IoT necesitan uno o más sensores para recoger datos del entorno, aquí se encuentra el sensor de aceleración, que capta los movimientos y la aceleración de pacientes. Estos datos son tratados y enviados al marco HAR-IBAA.

El microordenador (BeagleBone) recibe los datos generados por el acelerómetro, y se encarga del procesamiento y filtrado de datos antes de enviarlos a la red.

5.3.1. BeagleBone

Los datos generados por el acelerómetro se transmiten a través del bus I2C al microordenador. Para realizar la labor de recolección de datos expuesta en el caso de uso CU-ACC-01 (Sección 4.5) es necesario la configuración del acelerómetro, esto se consigue accediendo a su dirección para luego leer de los registros adecuados. Estos registros nos permiten determinar la velocidad de salida de datos para cada uno de los ejes y el rango de fuerza de cada uno de ellos.

Una vez realizamos la correcta recolección de datos procedemos a su procesamiento en el microordenador, de esto se encarga el servicio de procesamiento de datos expuesto en el caso de uso CU-ACC-02 (Sección 4.5), para la detección de actividad física caminar y el tiempo de estar sentado. Cuando los datos ya han sido procesados se procede a su envío a través del protocolo MQTT para su clasificación.

5.3.2. Conector MQTT

El conector MQTT es el responsable de la comunicación ente el marco IoT y el HAR-IBAA, para ello se tiene en cuenta el flujo del caso de uso CU-ACC-03 ([Sección 4.5](#)). Esto se realiza con el protocolo de comunicación MQTT, protocolo que utiliza el patrón publicación/suscripción que corre sobre TCP. Los clientes son publicadores/suscriptores y el servidor («Servicio» MQTT Broker) actúa como un intermediario al que los clientes se conectan a través de TCP. Los clientes pueden publicar o suscribirse a un topic. Esta comunicación tiene lugar a través del broker cuya tarea es coordinar las suscripciones y autenticar al cliente.

Un topic es una etiqueta que nos permite distinguir y organizar los mensajes generados y ayudan a separar la información de cada paciente, cada vez que se envía un mensaje se indica el topic. Por ello el formato elegido para los topics es el siguiente:

- Datos publicados: Cada paciente publica datos con su identificador correspondiente por lo que su topic es *HAR/id – Paciente*. Aquí se enrutan los paquetes generados y procesados por el acelerómetro.

Así cada dispositivo (BeagleBone) diferente envía datos en topics específicos para él, y no puede enviar ni recibir datos de otros topics, lo que permite una comunicación 1-1 entre el dispositivo y la aplicación.

5.4. HAR - IBAA

Este marco se encarga del formato y la presentación de los datos a los que esta suscripto, creando un registro de los detalles de la actividad de una persona. Cada personal sanitario

registrado se suscribe a un topic a través del cuál recibe los datos de cada paciente. Este topic sigue el siguiente patrón: *HAR/id – Paciente/id – medico*.

Parte de los datos publicados se visualizan en tiempo real directamente desde la aplicación utilizando librerías de JavaScript, como Plotly, el resto de los datos se utiliza para generar estadísticas de actividad y rellenar el índice de Barthel adaptado al acelerómetro.

5.4.1. Servicio de procesamiento HAR

El servicio de procesamiento HAR es el encargado de la clasificar los datos recibidos por el conector MQTT, siguiendo el flujo de eventos del caso de uso CU-ACC-04 ([Sección 4.5](#)). Esta clasificación se realiza sobre un algoritmo que clasifica los distintos tipos de actividad, caminar y sentado.

Los datos procesados se utilizan para el calculo del IBAA y su presentación en la capa web.

5.4.2. Servicio HAR-IBAA

Este componente es el encargado de calcular la cantidad de ejercicio realizado y de rellenar el IBAA, para dar funcionalidad al caso de uso CU-ACC-05 ([Tabla 4.4](#)). Se realiza una consulta de los datos almacenados, después se aplica un algoritmo de decisión para separar los distintos tipos de actividad y, por último, se calcula el tiempo dedicado a cada una de las actividades. Para el calculo del puntaje del IBAA se utiliza el porcentaje de tiempo que un paciente dedica a caminar.

Cáculo del IBAA

El índice de Barthel cuenta con varios items, pero solo dos de ellos se pueden adaptar al acelerómetro porque están directamente relacionados con la actividad física. El item desplazarse podemos relacionarlo con la actividad de caminar y, además, se añade el item sentado por ser una medición que puede captar el acelerómetro y que se relaciona con un comportamiento sedentario. Con estos dos items se crea un Índice de Barthel adaptado al acelerómetro.

Los resultados obtenidos, tanto del IBAA como de la actividad realizada, se almacenan en el servidor Apache MySQL en la tabla correspondiente (Fig. 5.2) junto con el identificador único de cada paciente y la fecha de realización, permitiendo así evaluar la evolución de un paciente a lo largo del tiempo.

Actividad
idPaciente : int(11)
fecha : date()
caminar : int(40)
dePie : int(40)
sentado : int(40)
ibaa : int(40)
actividad : varchar(40)

Figura 5.2: Tabla de actividad del paciente.

Para el cálculo del IB de un paciente el usuario dispone de un formulario generado con ReactJS. El resultado obtenido se almacena en la tabla de la base de datos del paciente correspondiente.

5.4.3. Servicio de gestión de pacientes y almacenamiento

Los servicios de acceso a la aplicación, dar de alta a nuevos paciente, listarlos y generar los datos del IB manualmente se llevan a cabo en el servicio de gestión de pacientes. Estos servicios son utilizados por un usuario registrado y dan funcionalidad a los casos de uso relacionados directamente con el usuario registrado (CU-UR [Subsección 4.5.2](#)). Para ello se crean dos tablas, en la base de datos MySQL, como la de la figura 5.3 que almacena los datos tanto de pacientes, como de personal sanitario. Estas tablas presentan la relación usuario-paciente a través de la clave primaria del sanitario. Esta relación tiene una cardinalidad 1-N. Un Usuario puede tener uno o varios pacientes.

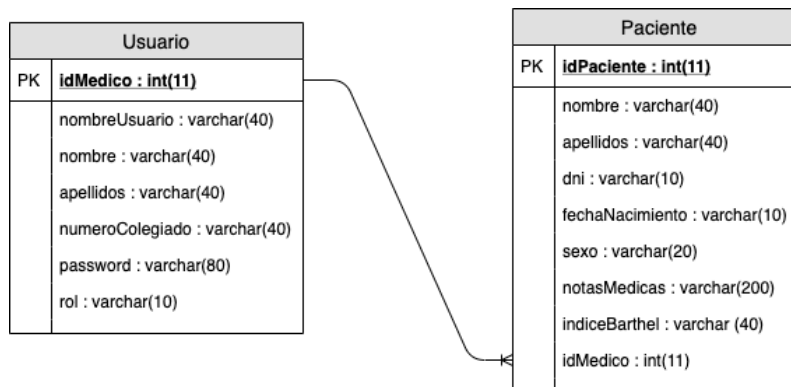


Figura 5.3: Base de datos relacional.

Cada paciente a su vez está relacionado con su tabla de actividad por su identificador. Para visualizar globalmente estas tablas se crea el modelo entidad-relación como el de la figura 5.4.

Este modelo de datos facilita la representación de entidades de la base de datos.

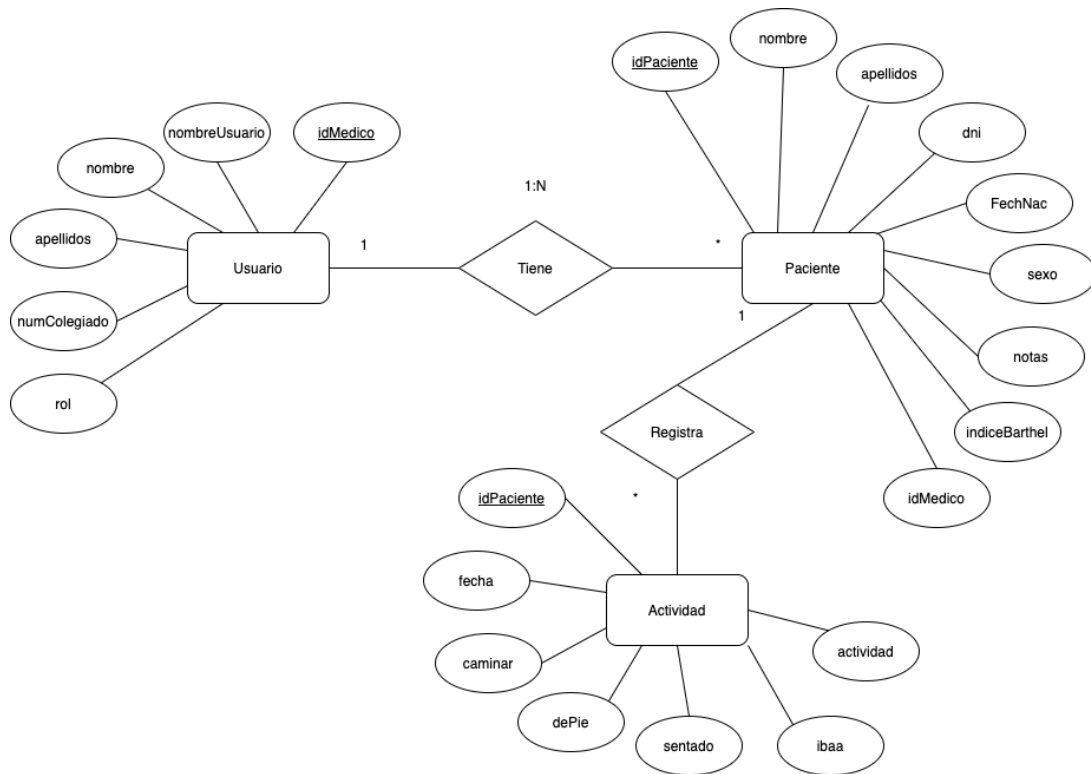


Figura 5.4: Modelo Entidad-Relación.

5.5. Ordenador personal sanitario

Para visualizar toda la información calculada y facilitar al usuario de la aplicación la interpretación de los datos, se realizan consultas al servidor. El encargado de realizar estas consultas a la capa web es el Navegador.

5.5.1. Navegador

Las consultas que realiza el usuario a la base de datos son:

- El acceso o login a la aplicación sigue el flujo de eventos del caso de uso CU-UR-01 (Sección 4.5.2). Cuando un usuario intenta acceder a la aplicación con sus credenciales,

estas se evalúan con los datos del servidor.

- Alta a un paciente. Cuando un usuario registrado da de alta a un nuevo paciente, sus datos como nombre, apellidos, dni, fecha de nacimiento y nota del sanitario se almacenan en la tabla correspondiente, siempre y cuando el paciente no exista (caso de uso CU-UR-02 [Sección 4.5.2](#)).
- Listar pacientes registrados, caso de uso CU-UR-03 [Sección 4.5.2](#). Un usuario solicita a la base de datos listar todos los pacientes relacionados con su identificador. Una vez se obtiene el listado de pacientes el usuario puede buscar, editar o acceder a sus resultados de actividad (casos de uso CU-UR-05, CU-UR-06 y CU-UR-07 respectivamente).

Estas peticiones HTTP las realiza el componente Navegador, el resultado es una respuesta en formatos JSON y se realizan con la librería de JavaScript JQuery, porque facilita la selección de elementos, la asignación de eventos a elementos, manipulación del DOM y fundamentalmente porque tiene una interactividad asíncrona (AJAX).

5.6. Flujo de datos entre componentes para clasificación de actividad

En esta sección se explica el flujo de funcionamiento del reconocimiento de actividad que abarca desde la recolección de datos que genera el acelerómetro y su envío a través del servicio MQTT, hasta su almacenamiento para su uso y clasificación, pasando por diversas transformaciones realizadas en el microordenador.

El estudio se centra en dos actividades: caminar y tiempo de estar sentado. Si bien estas actividades son muy básicas, son las únicas que nos permiten rellenar el IBAA de forma automática y además son las que realizan la mayoría de las personas mayores.

Se utilizan estos datos para crear un modelo predictivo que permite obtener conocimiento acerca de las actividades que realizan a lo largo del día y con ello el resultado del IBAA obtenido.

El flujo funcional de la aplicación se explica a continuación y sigue la dirección de este diagrama 5.5.

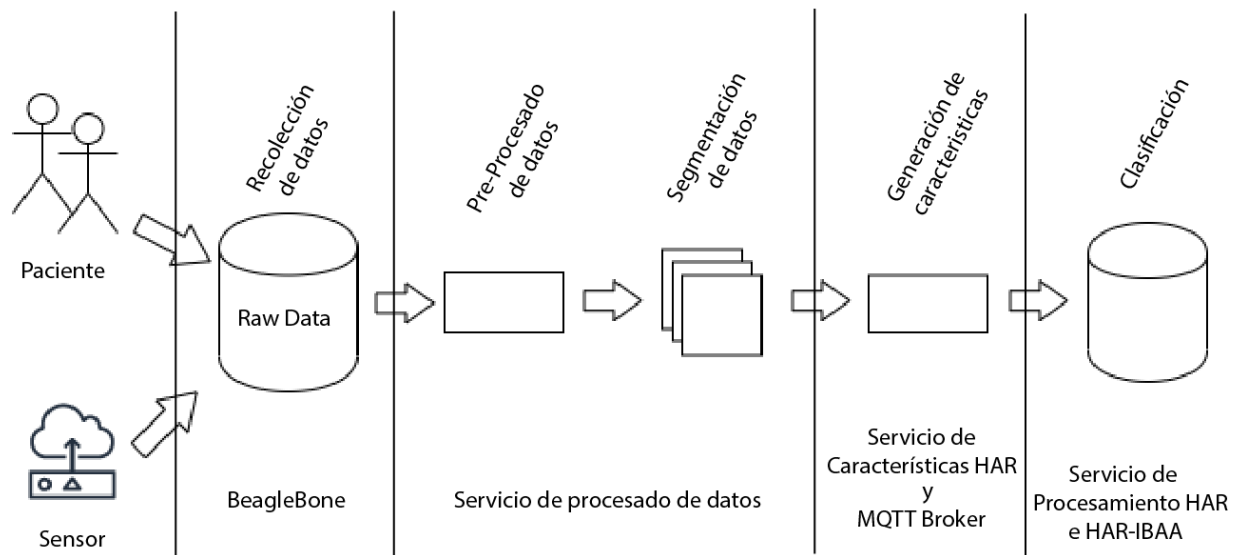


Figura 5.5: Diagrama de flujo de procesamiento de datos.

Cada componente se encuentra desarrollado en los siguientes ficheros del repositorio de GitHub <https://github.com/mos-JM/TFG>:

- Los componentes del sistema IoT encargados de la recolección de datos, procesamiento y generación de características se concretan en el fichero *BeagleBone.py*.
- El conector MQTT de la aplicación, el procesamiento HAR y el servicio HAR-IBAA se concretan en los ficheros *charts.php* y *HAR-IBAA.js*.
- El servicio de gestión de pacientes se concreta en los ficheros *createPatient.php*, *lista-*

doPaciente.php y *patientHARc.php*.

Capítulo 6

Interfaz externa. Pantallas del sistema

Para responder a los casos de uso expuestos en el capítulo anterior se examinarán las diversas pantallas que representan los requisitos anteriores.

6.1. Login en la aplicación

Un usuario de la aplicación lo primero que ve al entrar en la aplicación web es la página de inicio de sesión, véase figura 6.1a. Si el usuario no está registrado, deberá pedir al administrador que lo registre. Si el usuario, registrado o no, intenta acceder al sistema con email o contraseñas incorrectas, saldrá un mensaje de datos incorrectos, como los que muestra la figura 6.1b.

Estas pantallas se corresponden con la funcionalidad del caso de uso de un usuario que accede a la aplicación (Login CU-UR-01).

Una vez registrados en la aplicación, se nos redirige a la pantalla principal, véase figura 6.2. En esta pantalla podemos gestionar y acceder a diversas opciones del sistema tales como

Login

Email address

Password

☐ Remember Password

Entrar

[Register an Account](#)
[Forgot Password?](#)

(a) Login de la aplicación.

Login

- El usuario o el password no coinciden

Email address
medico@medico.com

Password

☐ Remember Password

Entrar

[Register an Account](#)
[Forgot Password?](#)

(b) Error del Login de la aplicación.

Figura 6.1: Captura de pantalla del inicio de sesión y error del login.

dar de alta y listar pacientes.

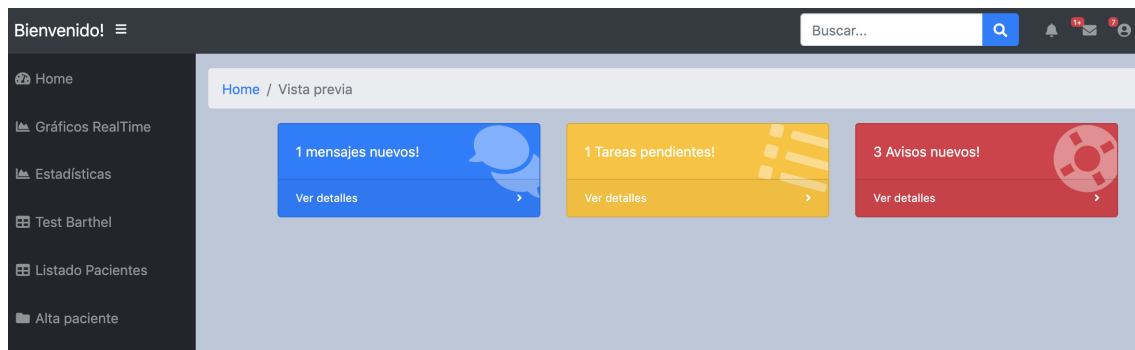


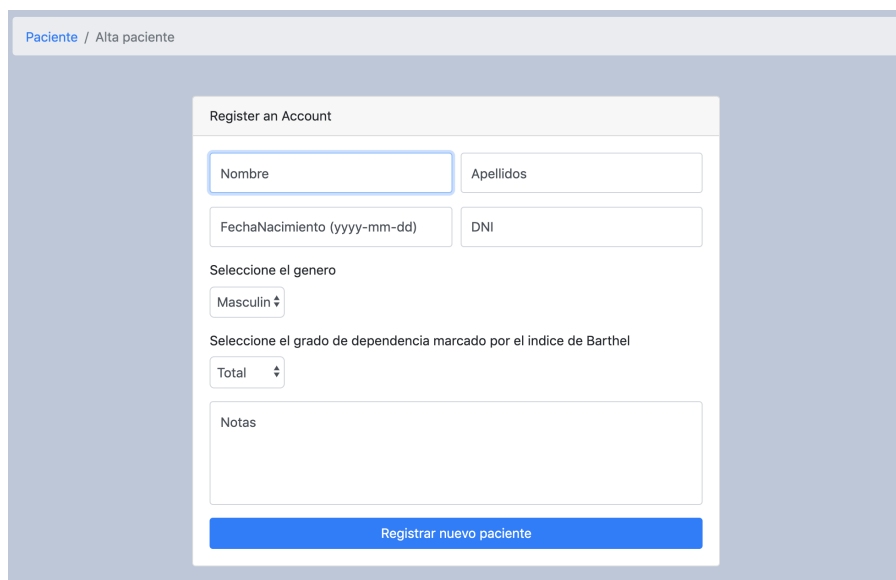
Figura 6.2: Captura de pantalla principal de la aplicación.

6.2. Gestión pacientes

Un usuario registrado puede dar de alta a un nuevo paciente y listar a todos los pacientes relacionados a su identificador.

6.2.1. Alta paciente

La aplicación dispone de un apartado para añadir nuevos pacientes al sistema 6.3. Esta pantalla esta relacionada con el caso de uso CU-UR-02.



The screenshot shows a web application interface for registering a new patient. At the top, there is a breadcrumb trail: "Paciente / Alta paciente". The main content area is a light blue box containing a white form titled "Register an Account". The form has the following fields and controls:

- Two text input fields for "Nombre" (Name) and "Apellidos" (Surnames).
- Two text input fields for "FechaNacimiento (yyyy-mm-dd)" (Date of Birth) and "DNI".
- A dropdown menu for "Seleccione el genero" (Select gender) with "Masculin" (Male) selected.
- A dropdown menu for "Seleccione el grado de dependencia marcado por el indice de Barthel" (Select the degree of dependency marked by the Barthel index) with "Total" selected.
- A large text area for "Notas" (Notes).
- A blue button at the bottom labeled "Registrar nuevo paciente" (Register new patient).

Figura 6.3: Alta pacientes.

6.2.2. Listado Pacientes

El usuario cuenta con la opción para listar todos los usuarios asociados a su *id* de usuario, caso de uso CU-UR-03, como se muestra en la figura 6.4.

6.3. Resultados

Si el usuario selecciona un paciente concreto, automáticamente se redirige al informe y resultados del mismo. Este informe o resultados se dividen en 3 apartados. El primero muestra el resultado del porcentaje de actividad realizada y debajo la actividad en función a su IBAA (Figura 6.6).



Figura 6.6: Resultado del porcentaje de actividad realizado y actividad del IBAA.

El segundo apartado se aprecia una tabla con los resultados del paciente seleccionado, fecha de captura, actividad realizada, IBAA y resultado del mismo (Figura 6.7).

Resultados						
Id	Fecha	Caminar	De pie	Sentado	Resultado (IBAA)	Resultado Actividad
16	2020-05-24	40	8	52	5	Baja
16	2020-05-22	36	7	57	15	Baja
16	2020-05-20	33	6	61	15	Naja
16	2020-05-18	26	4	70	15	Baja
16	2020-05-16	17	5	78	15	Nula
16	2020-05-14	13	6	81	15	Nula
16	2020-05-12	15	2	83	0	Nula
16	2020-05-10	11	1	88	0	Nula
16	2020-05-08	9	1	90	0	Nula
16	2020-05-06	4	2	94	0	Nula
16	2020-05-04	5	1	94	0	Nula

Figura 6.7: Tabla temporal con los resultados del paciente.

Por último se muestra un gráfico evolutivo del tiempo de actividad realizada, caminar y sentado (Figura 6.8).

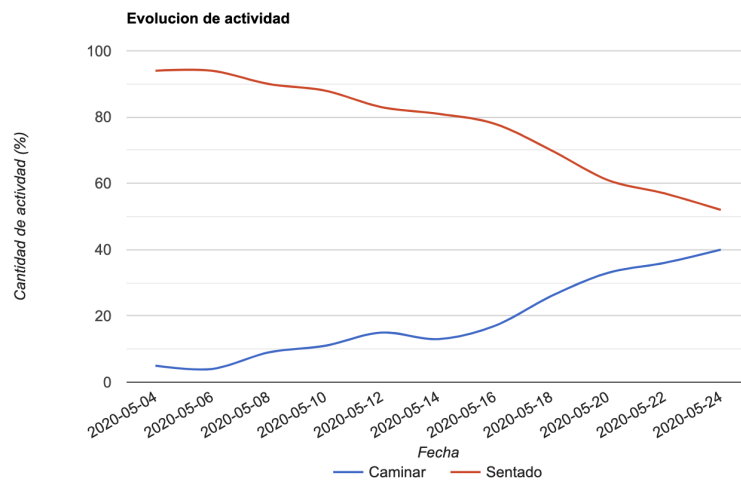
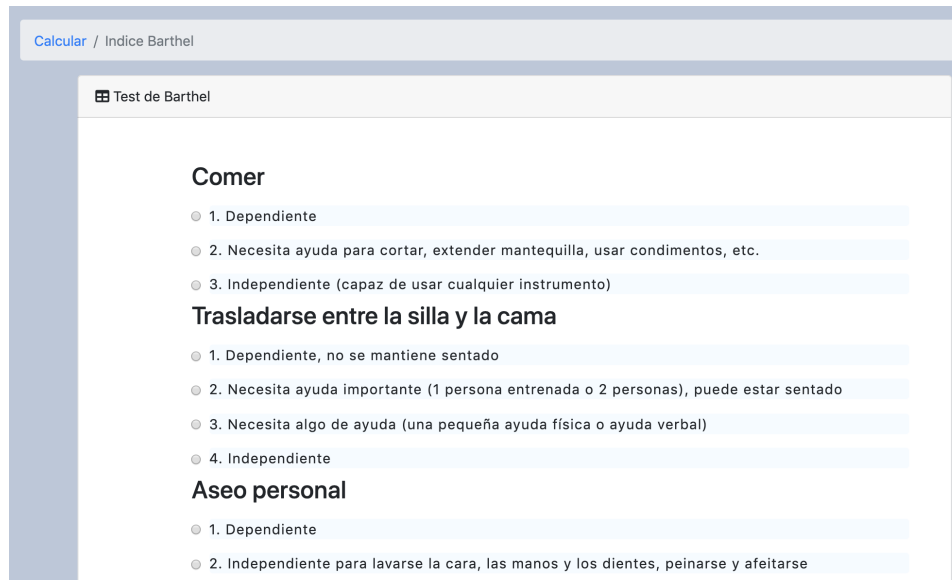


Figura 6.8: Grafico temporal con los resultados del paciente.

Estas pantallas pertenecen a la funcionalidad del caso de uso Resultados del paciente (CU-UR-07)

6.3.1. Índice de Barthel

Tanto cuando se da de alta un nuevo paciente, como cuando se desea realizar el test a un paciente existe, acudimos al apartado de "Test Barthel". Este apartado se corresponde con el caso de uso de Rellenar IB (CU-UR-04). En esta pantalla 6.9 se realizaran las preguntas indicadas al paciente y se irá rellenando el formulario.



Calcular / Índice Barthel

Test de Barthel

Comer

- ☐ 1. Dependiente
- ☐ 2. Necesita ayuda para cortar, extender mantequilla, usar condimentos, etc.
- ☐ 3. Independiente (capaz de usar cualquier instrumento)

Trasladarse entre la silla y la cama

- ☐ 1. Dependiente, no se mantiene sentado
- ☐ 2. Necesita ayuda importante (1 persona entrenada o 2 personas), puede estar sentado
- ☐ 3. Necesita algo de ayuda (una pequeña ayuda física o ayuda verbal)
- ☐ 4. Independiente

Aseo personal

- ☐ 1. Dependiente
- ☐ 2. Independiente para lavarse la cara, las manos y los dientes, peinarse y afeitarse

Figura 6.9: Formulario test Barthel.

Una vez rellenado el formulario el usuario hace click en Calcular resultado para obtener el resultado del índice de barthel de forma manual (Figura 6.10).

Capítulo 7

HAR e IBAA

En este capítulo se explica el funcionamiento de los componentes que conforman el flujo de datos (Diagrama 5.5) para el reconocimiento de actividad humana (HAR) a través de algoritmos de decisión y el cálculo del Índice de Barthel Adaptado al Acelerómetro (IBAA) a partir de la actividad realizada.

7.1. Colocación del acelerómetro

Para realizar una correcta lectura de los datos que se van a tratar es necesario colocar el dispositivo en el muslo derecho, con el eje X del acelerómetro apuntando hacia abajo, estando el sujeto de pie (7.1).

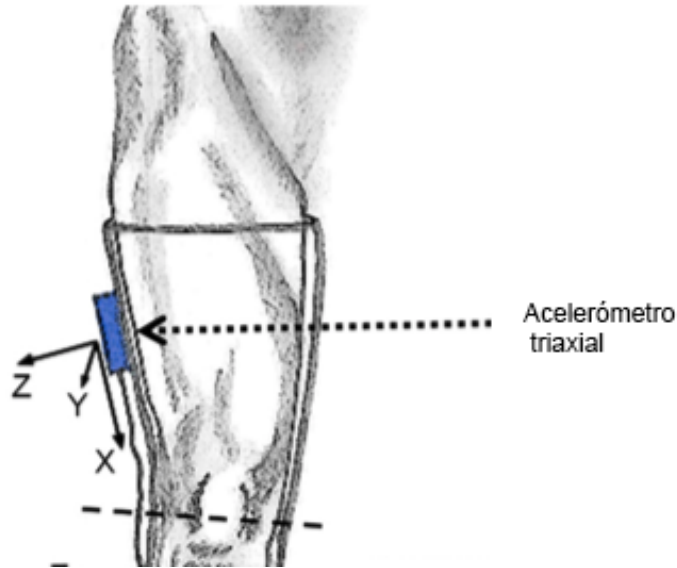


Figura 7.1: Colocación y orientación del acelerómetro.

El número de sujetos utilizados al desarrollar sistemas de reconocimiento de actividades físicas humanas difiere entre los estudios. Un mayor número de sujetos conduce a una representación más realista de los patrones de movimiento en una población⁸.

7.2. BeagleBone

La recogida de datos de actividad física se realiza en el microordenador BeagleBone a través de un acelerómetro triaxial $\pm 400g$ de SeeedStudio, como se explica en la [Sección 5.3](#). Este acelerómetro, calibrado en fábrica a 1 g, cuenta con diferentes registros configurables como las escalas y tasa de datos de salida. A continuación, se realiza la configuración para la lectura de datos del acelerómetro, esta configuración se realiza una vez y es válida para cualquier paciente de edad avanzada.

Para realizar una lectura correcta desde el acelerómetro, antes se debe configurar. Para

ello se necesita la dirección del acelerómetro H3LIS331DL, que según la documentación es la 0x18. Se poner el registro de control a 1 con la dirección 0x20, se activa el modo encendido con una velocidad de salida de 50Hz, es decir 50 muestras por segundo y los ejes X, Y y Z habilitados (0x27). A continuación, se configuro el rango de fuerza, para ello se selecciono el registro de control 4 (0x23) con actualización continua con rango de +/- 100g (0x00).

Listing 7.1: Python

```
bus.write_byte_data(0x18, 0x20, 0x27)
bus.write_byte_data(0x18, 0x23, 0x00)
```

7.2.1. Acelerómetro

Una vez configurado y colocado correctamente el acelerómetro, se comienza a realizar la lectura de los datos generados. La lectura de datos se hace para cada un de los ejes, el eje X se hace desde el bit 40 (0x28), leyendo 2 bytes de datos (X-Axis LSB, X-Axis MSB). Lo mismo para el eje Y (0x2A) y para el eje Z (0x2C). Para terminar, calculamos la aceleración con los datos leídos.

Listing 7.2: Python

```
# Read data back from 0x28(40), 2 bytes
# X-Axis LSB, X-Axis MSB
data0 = bus.read_byte_data(0x18, 0x28)
data1 = bus.read_byte_data(0x18, 0x29)
xAccl = data1[0] * 256 + data0[0]
```

Los datos recogidos son tratados en el micrordenador para enviarlos por el conector MQTT a la aplicación. A continuación, se explica el tratamiento al que se someten los datos antes de su envío.

7.3. Pre-Procesado

Los datos generados por el acelerómetro se tratan en el microordenador utilizando el método descrito por Skotte et al.³⁹. Los datos en crudo se procesan con un filtro de paso bajo Butterworth de cuarto orden y se divide en intervalos de x segundos. La duración de x segundos sirve para calcular los valores promedios de cada intervalo. Esto se determino para incluir los ciclos de duración de las actividades.

7.3.1. Servicio de procesamiento de datos

El filtrado de datos se realiza en el marco IoT, en concreto en el microordenador Beagle-Bone. El filtro aplicado a los datos es un filtro de paso bajo Butterworth de cuarto orden, se utilizó la biblioteca libre de código abierto SciPy para python. El siguiente código hace la llamada al método para aplicar el filtro deseado.

Listing 7.3: Python

```
//scipy.signal.butter(N, Wn, btype='low', analog=False)
b, a = signal.butter(4, 100, 'low', analog=True)
```

Los parámetros del método, según la documentación:

- **N: int** Orden del filtro. Según la documentación, el orden es un entero que va desde 1 a 9. No se especifica ningún criterio de elección. Se realizaron pruebas para ver cual se ajustaba mejor a nuestro problema.
- **Wn: array like** Es una secuencia escalar que proporciona las frecuencias críticas. Para un filtro Butterworth, este es el punto en el que la ganancia cae a $1 / \sqrt{2}$ la de la banda de paso (el "punto -3 dB"). Para filtros digitales, Wn se normaliza de 0 a 1, donde 1 es la frecuencia de Nyquist, π radianes / muestra. (Wn es, por lo tanto,

en semiciclos / muestra). Para filtros analógicos, W_n es una frecuencia angular (por ejemplo, rad / s)⁷.

- **btype:** Tipo de filtro. 'lowpass' (por defecto), 'highpass', 'bandpass', 'bandtop'.
- **analog: bool** Cuando es True devuelve un filtro analógico; de lo contrario, devuelve un filtro digital.

7.4. Segmentación de datos

La segmentación de la señal es importante en el reconocimiento de actividades. La forma mas común es mirar segmentos mas largos de datos, en lugar de evaluar cada punto de datos. Para realizar la segmentación se utiliza flujos de datos con ventana de tamaño fijo.

Usando este enfoque de ventana de tamaño fijo, se mueve una ventana a lo largo de la señal que la divide en ventanas de igual longitud y sin superposición, dependiendo de cada actividad ²⁴.

7.5. Selección y generación de características

La generación y selección de características es un paso importante en la cadena de reconocimiento de actividades. Se espera que las características contengan información relevante sobre la señal de datos sin procesar. Estas características suelen dividirse en el dominio del tiempo.

7.5.1. Servicio de características HAR

Se estableció el criterio de discriminar entre 3 tipos de actividades diferentes caminar, sentado y de pie, de ellas, **caminar** pertenece al items de actividades físicas del IB (Capítulo 2) que se utilizarán para rellenar el IBAA, añadiendo el porcentaje de tiempo de estar **sentado**.

Para realizar la clasificación de las actividades se calculó la aceleración media $A = (A_x, A_y, A_z)$ de cada intervalo de la ventana de tamaño fijo y la desviación estándar $SD = (SD_x, SD_y, SD_z)$ de cada uno de los ejes del acelerómetro, también se calculó el ángulo de inclinación del eje x (Inc) que se determinó de la siguiente manera.

$$Inc = \frac{\text{atan}(A_y, A_x)}{\Pi} 180$$

Dado que el eje x del acelerómetro es paralelo al eje del muslo, la inclinación indica el ángulo entre la línea vertical y el eje del muslo, cuyo rango es un valor positivo que va de 0° a 180°.

Los datos normalizados se agruparon de 10 en 10 para la actividad estar de pie y sentado. Para caminar se agruparon de 2 en 2, para así capturar el movimiento de las piernas. Se calculó la media de cada grupo y a estos resultados (aproximadamente 250) se les aplicó la ecuación de la desviación estándar con la siguiente función en Python.

Listing 7.4: Python

```
temp = np.array(xnormSD)
SDx = np.std(temp)
```

Para determinar si el paciente se encuentra sentado o de pie, es necesario calcular la inclinación del eje y respecto al eje x.

Los datos ya normalizados se dividieron en muestras de grupos de 200, se calculó la mediana de cada subgrupo, lo que permite reducir el sesgo de los datos generados por movimientos involuntarios.

A dicho resultado se le aplicó la siguiente fórmula para el cálculo de la inclinación.

Listing 7.5: Python

```
AcclXnorm = Acclx/math.sqrt(Acclx * Acclx + Acclx * Acclx + Acclz * Acclz)
AcclYXIncl = math.atan2(yNormMedian, xNormMedian) * 180.0 / math.pi
```

Esta selección de datos se envía a través de los componentes MQTT, como se explica en el [Subsección 5.3.2](#), para su clasificación HAR y rellenado del IBAA.

7.6. Servicio de procesamiento HAR

Los datos recibidos se utilizan para la clasificación de actividad y rellenado del IBAA. Los componentes encargados de esta tarea son los que se describen en el [Sección 5.4](#) del marco HAR-IBAA.

Hay muchas maneras de afrontar el problema del reconocimiento de actividad humana (HAR). Un ejemplo interesante es el de Heeryon Cho y Sang Min Yoon en su artículo de 2018¹³, titulado “Divide and Conquer-Based 1D CNN Human Activity Recognition Using Test Data Sharpening”.

En él se dividen las actividades en las que involucran movimiento, llamada *dinámicas*, y aquellas en las que el participante está parado, llamada *estáticas*. Dentro de estas dos clases se encuentran las actividades como *caminar* para la clase dinámica y *sentarse* para la estática. (Fig.[7.2](#))

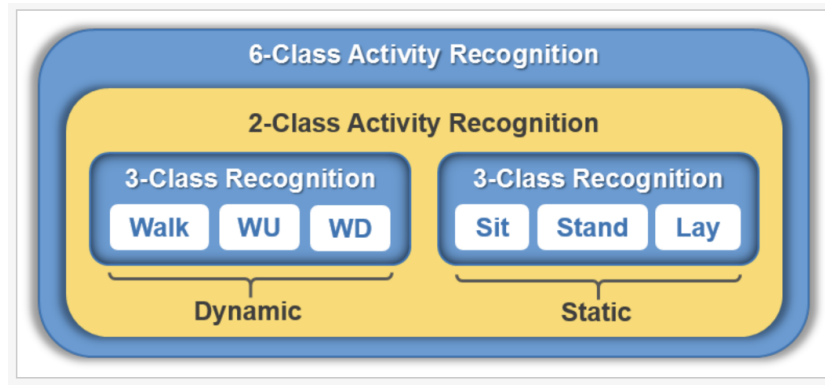


Figura 7.2: Distinción de las dos clases de actividades (Dinámicas y estáticas).

Se deja de lado el HAR a través de redes neuronales ya que antes debemos clasificar correctamente los datos respecto a las clases de actividades como se hace con redes neuronales, pero sin hacer uso de ellas.

El siguiente árbol de decisión representa el algoritmo para clasificar los distintos tipos de actividad. 7.3.

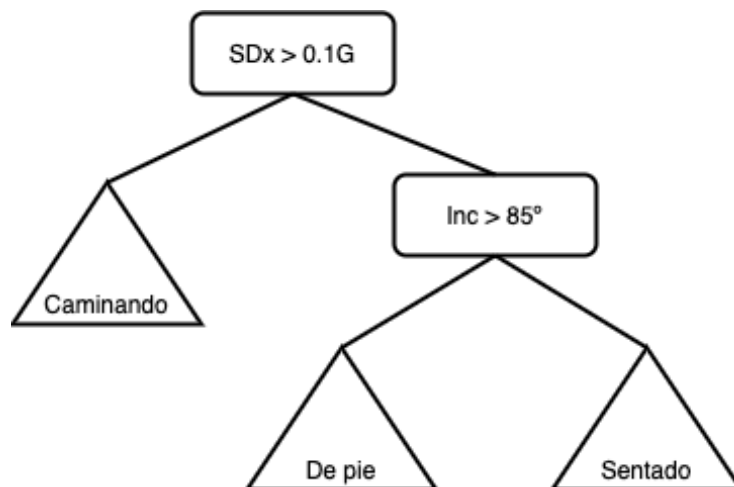


Figura 7.3: Árbol de decisión.

Una vez se dispone de los datos de la desviación standard y la inclinación se determina el tipo de actividad que se esta realizando. Si $SD(x)$ es mayor que $0.1G$ el sujeto esta caminando, en caso contrario hay dos actividades más que clasificar que serán reconocidas

por la inclinación. Si la inclinación de mayor a 75° el sujeto esta sentado, en caso contrario se encuentra de pie.

Los datos clasificados de cada actividad realizada se utilizan para calcular el IB adaptado al acelerómetro (IBAA) y resultados de actividad. Estos resultados serán consultados por el navegador para su visualización.

7.7. Servicio de HAR-IBAA

Debido a que el acelerómetro no mide cambios posturales, se tiene en cuenta tanto el porcentaje de tiempo caminando como el de estar sentado. Un paciente que esta la mayor parte del tiempo sentado se traduce en poca actividad física. Por el contrario, una persona activa, no es sedentaria.

Para calcular el puntaje del IB adaptado se pueden tener en cuenta cualquiera de las dos actividades.

En la siguiente tabla podemos ver como se adaptan los item de IB al HAR.

PARÁMETRO	SITUACIÓN DEL PACIENTE	PUNTOS
Sentado	- Menos del 25 % del tiempo medido.	15
	- Entre el 26 y el 50 % del tiempo medido.	10
	- Entre el 51 y 75 % del tiempo medido.	5
	- Entre el 76 y 100 % del tiempo medido.	0
Caminar (Deambular)	- Independiente.	15
	- Necesita ayuda para caminar.	10
	- Necesita gran ayuda para caminar.	5
	- Dependiente	0

Respetando las puntuaciones del IB de los items seleccionados, se crea el parámetro Caminar con las mismas 4 puntuaciones (15,10,5 y 0 puntos). La situación del paciente se

adapto principalmente al ejercicio físico, de esta manera un paciente con una puntuación 15 es independiente en la caminata, no necesita ayuda, lo que se traduce en una alta tasa de actividad. Por el contrario, un anciano con una puntuación 0 necesita gran ayuda para la caminata lo que equivale a una actividad nula. Si no existen limitaciones en el desempeño de estas tareas se asigna la máxima puntuación, lo que equivale a una persona independiente.

Para determinar el puntaje de cada paciente se tiene en cuenta el porcentaje de actividad realizada y medida con el acelerómetro. La siguiente tabla muestra los puntajes que se obtienen en el IBAA en función de su capacidad de realizar actividad física.

Sentado (%)	Actividad (%)	Puntaje	Clasificación (Dependencia/Actividad)
76 - 100	<25	0	Severa / Nula
51 - 75	26 - 50	5	Moderada / Baja
26 - 50	51 - 75	10	Leve / Moderada
<25	76 - 100	15	Independencia / Alta

Si se realiza menos de un 25 % de actividad, el puntaje obtenido es 0, es decir el paciente necesita gran ayuda para caminar y además su nivel de actividad es nulo. Por el contrario, si se realiza entre el 76 y 100 % de actividad se obtiene la máxima puntuación, 15, el paciente es independiente y realiza niveles altos de actividad.

El item de estar sentado es el inverso del item caminar como se puede observar en las tablas. Si un paciente permanece sentado menos del 25 % del tiempo equivale a realizar un 76 % de actividad o mas, lo que se traduce en una independencia y alto nivel de actividad. Esto nos permite reafirmar los resultados del IBAA calculados.

En el siguiente código se ve como se calculan los puntajes a través de la actividad de caminar que ofrece el servicio de HAR-IBAA de la [Subsección 5.4.2](#).

Listing 7.6: JavaScript

```
adaptiveIB(value){
```

```

    this.result = parseInt(value.walking_percentage)
    var msgString

    if (this.result < 25)
        msgString = "Dependencia Severa / Actividad Nula"
    else if (this.result >= 26 && this.result <= 50)
        msgString = "Dependencia Moderada / Actividad Baja"
    else if (this.result >= 51 && this.result <= 75)
        msgString = "Dependencia Leve / Actividad Moderada"
    else
        msgString = "Dependencia Independencia / Actividad Alta"

    $('#ibaa').html(msgString);
});
}

```

Estos resultados junto con el porcentaje de tiempo dedicado a cada actividad se almacenan en la base de datos correspondiente a la tabla de cada paciente.

Esta información puede ayudar a los médicos a comparar el progreso individual de un paciente con el resultado esperado en función del estado funcional actual.

Capítulo 8

Experimentación.

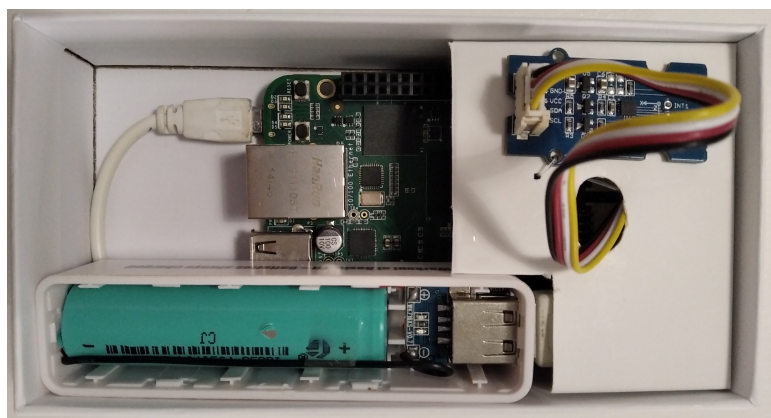
En este capítulo se explica como se llevo a cabo el despliegue y calibración de los distintos componentes para el HAR. Además, se presentan varios casos de estudio que aportan una visión global del funcionamiento de la arquitectura.

8.1. Despliegue

En esta sección se explican las actividades necesarias para que el sistema este disponible para su uso. Para ello es necesario calibrar el dispositivo para capturar movimiento. La calibración se realiza una vez y es valida para cualquier paciente. Esta depende de la orientación del acelerómetro, para luego verificar que las mediciones encajan con la clasificación de actividades.

8.1.1. Montaje prototipo de pruebas

Se monta el dispositivo en una caja con correa para fijar o sujetar al muslo. En el interior se encuentra la placa, el acelerómetro y una pequeña batería de 2200 mAh para realizar las pruebas 8.1.



(a) BeagleBone, acelerómetro y batería.



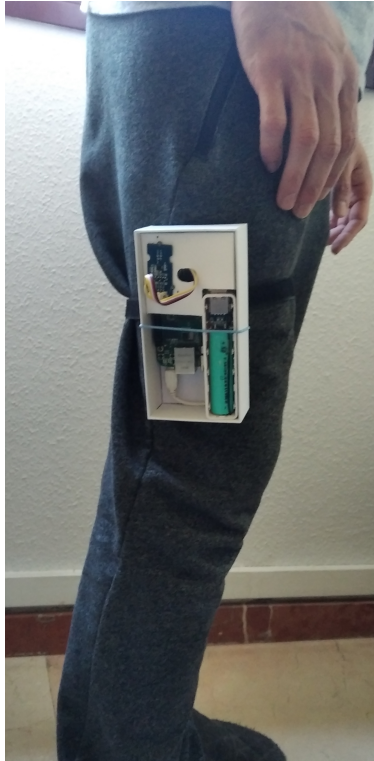
(b) Acelerómetro con los ejes orientados.

Figura 8.1: Equipo montado para la lectura de datos.

8.1.2. Colocación del acelerómetro

Para comenzar con la lectura de nuevos datos se coloca el acelerómetro en el muslo de la pierna derecha. El eje X debe quedar paralelo a la pierna y apuntando hacia abajo 8.2b.

Se realizó la captura de datos de las tres actividades a registrar; de pie, sentado y caminando 8.2.



(a) Captura de datos en pie.



(b) Captura de datos sentado.

Figura 8.2: Posturas para el reconocimiento HAR.

8.1.3. Procesado y clasificación

Para determinar el tipo de actividad realizada se realizaron los cálculos desarrollados en el capítulo anterior.

Datos obtenidos

Los datos almacenados en archivos csv se utilizaron para realizar pruebas y comprender los resultados que lanzaba la aplicación.

Para las posturas 'caminar', 'sentado' y 'de pie' se obtuvieron los resultados de la figura

8.3, 8.4a y 8.4b respectivamente. Estos datos ya están procesados, es decir listos para ser almacenado en nuestra cuenta de almacenamiento del servidor web.

```
In [5]: 1 with open('caminando.csv') as csvfile:
2         readCSV = csv.reader(csvfile, delimiter=',')
3         xnormWalk = []
4         for row in readCSV:
5             xnormWalk.append(float(row[3]))

In [6]: 1 xnormWalk
Out[6]: [-0.374634324633,
-0.100503781526,
-0.118469775552,
-0.348155311911,
-0.137360563949,
-0.298142397,
-0.57735026919,
-0.424264068712,
0.120385853086,
0.0,
-0.866448577718,
-0.348742916231,
-0.291385758707,
-0.156173761889,
-0.137360563949,
-0.137360563949,
-0.120385853086,
-0.312347523777,
-0.123091490979,
-0.120385853086,
-0.0924500327042,
0.104828483672,
-0.140028008403,
-0.155230105141,
0.140028008403,
-0.444444444444,
-0.099503719021,
0.492365963917,
-0.211999576001,
-0.527046276695,
~ ^
```

Figura 8.3: Datos de la aplicación para el HAR de caminar.

```
In [169]: 1 with open('sentado.csv') as csvfile:
2           readCSV = csv.reader(csvfile, delimiter=',')
3           xnormSit = []
4           for row in readCSV:
5               xnormSit.append(float(row[3]))

In [170]: 1 xnormSit
Out[170]: [0.495715430863,
0.544125452036,
0.444444444444,
0.406138466053,
0.392418648177,
0.430134037853,
0.461352736642,
0.495905442883,
0.472866243743,
0.554265307725,
0.514495755428,
0.485493896533,
0.426241342061,
0.508340226554,
0.47545731105,
0.524783571406,
0.601793476594,
0.559795028147,
0.446158844985,
0.524637302976,
0.481918749772,
0.420890540355,
0.536875492193,
0.37338291614,
```

(a) Captura de datos sentado.

```
In [3]: 1 with open('dePie.csv') as csvfile:
2         readCSV = csv.reader(csvfile, delimiter=',')
3         xnormPie = []
4         for row in readCSV:
5             xnormPie.append(float(row[3]))

In [4]: 1
Out[4]: <csv.reader at 0x10c4a5dd8>

In [168]: 1 xnormPie
Out[168]: [-0.784464540553,
-0.874157276122,
-0.703526470681,
-0.374269716931,
-0.986393923832,
-0.666666666667,
-0.957826285221,
-0.948683298051,
-0.676715542332,
-0.829561355784,
-0.683763458758,
-0.992277876714,
-0.904534033733,
-0.910366477463,
-0.984731927835,
-0.877895572914,
-0.928279121633,
-0.936329177569,
-0.814821714383,
-0.348155311911,
-0.870062840141,
```

(b) Captura de datos de pie.

Figura 8.4: Datos de la aplicación para el HAR sentado y de pie.

Reconocimiento de actividad

Para calcular el porcentaje de tiempo que se dedica a cada actividad, se crea un dataset con todo el conjunto de aceleraciones: estar de pie, sentado y caminando.

El dataset contiene 5000 datos, de los cuales 1500 son de estar en pie (30 %), 2500 sentado (50 %) y 1000 caminado (20 %). Estos porcentajes se comparan con los resultados obtenidos después de los cálculos.

Calculo SDx e inclinación

Se calcula la SDx para distinguir si el paciente esta caminando o no. Para determinar si se esta de pie o sentados, es necesario el calculo del ángulo de inclinación de los ejes. (Figura 8.5).

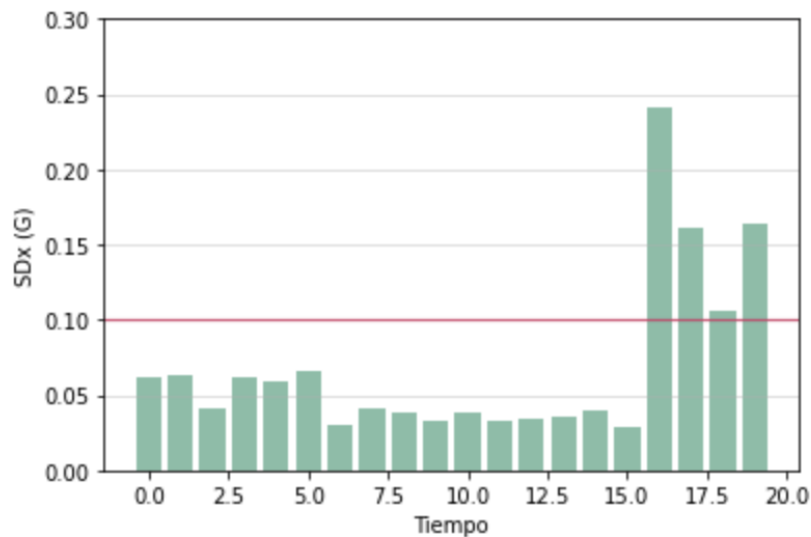


Figura 8.5: SDx de un dataset completo.

De este resultado se deduce que el paciente ha estado un 20 % de tiempo caminando, el

resto de pie o sentado.

Para calcular el porcentaje de tiempo destinado a cada una de las dos actividades restantes se necesita la inclinación de los datos restantes.

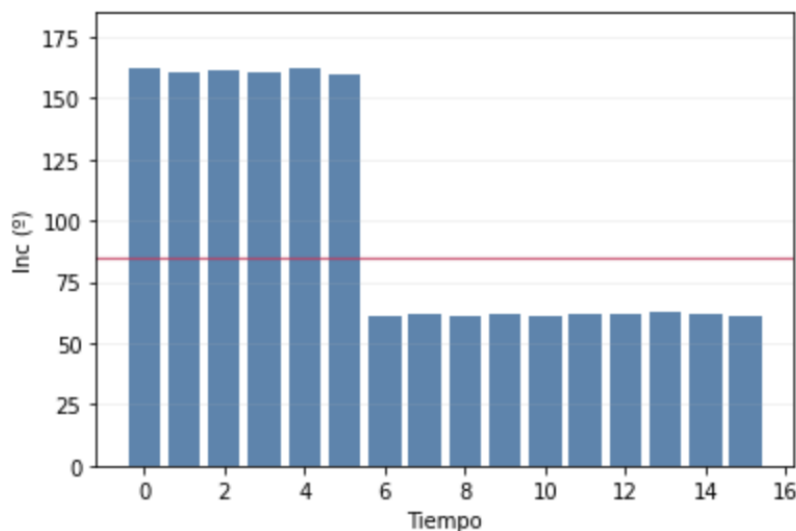


Figura 8.6: Ángulo de inclinacion de un dataset completo.

El resto de datos indica que un 30 % del tiempo el paciente esta en pie y el 50 % restante sentado (figura 8.6).

Siguiendo el algoritmo de decisión de actividad, si el ángulo es mayor a 85° , el paciente se encuentra de pie y si el ángulo resultante es inferior a 85° el paciente esta sentado. La clasificación de las actividades se realiza correctamente.

8.2. Caso de estudio

En este apartado se presentan dos casos de uso reales para los que el propio autor es el sujeto de las pruebas. El caso de estudio consiste en hacer un seguimiento de actividad a lo

largo de dos días, para ello se realizan los siguientes pasos:

- Dar de alta a un nuevo paciente con el fin de almacenar los datos generados. Se comprueba que el nuevo paciente no presenta registros de actividad (Figura 8.7).
- Colocar el sensor, según las indicaciones (Subsección 8.1.2).
- Verificar que los datos llegan correctamente a la aplicación (Subsección 8.2.1).
- Verificar que se rellena correctamente el IBAA (Figura 8.10).
- Verificar que el IBAA varia en función de la actividad realizada (Figura 8.12).
- Verificar la evolución del paciente (Figura 8.13).

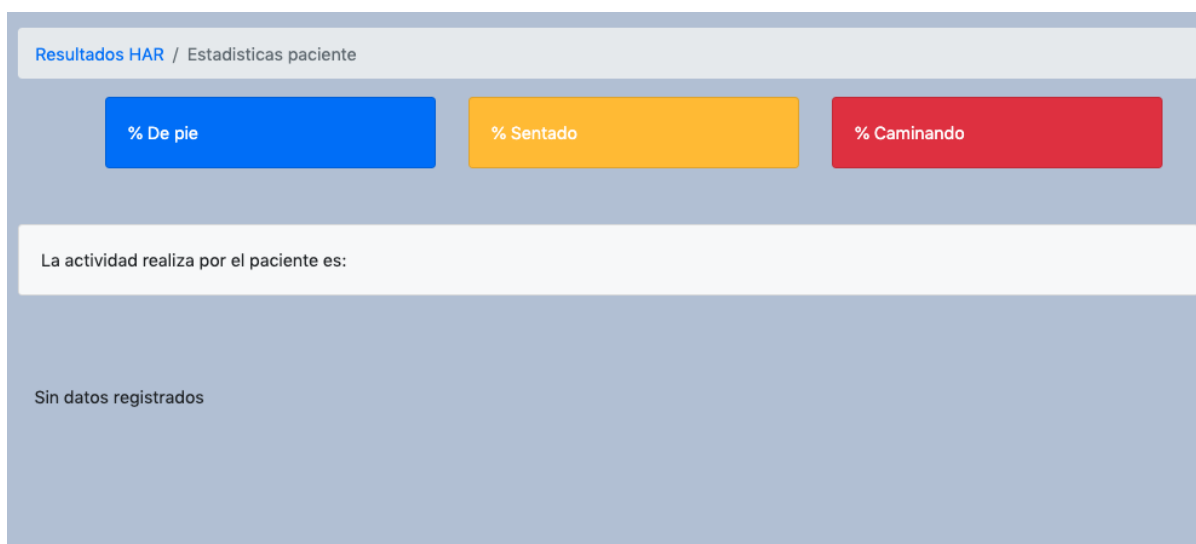


Figura 8.7: Captura de pantalla de los resultados de la actividad física de un paciente nuevo.

8.2.1. Datos del acelerómetro y visualización en tiempo real

Se coloca el acelerómetro al paciente y se comienza a generar datos del acelerómetro. Los datos se publican para ser consumidos por la aplicación 8.8. Para guardarse como archivos

CSV, esto se consigue utilizando la funcion fputcsv en PHP y recorriendo la variable con el mensaje recibido.

```
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0830373043252 , Inc: 52.3037303333
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0772551938844 , Inc: 57.5288077092
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0915606291777 , Inc: 55.175510843
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0860416241767 , Inc: 52.3057595333
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0897779111244 , Inc: 55.0079798014
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0922593438005 , Inc: 54.6887865604
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0887167804521 , Inc: 59.4207731275
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0876245597908 , Inc: 53.9726266149
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0896007363563 , Inc: 63.4349488229
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0892795204718 , Inc: 53.9726266149
Date: 2020-05-23, SDx: 0.089173101192 , Inc: 54.462322208
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0965925941576 , Inc: 56.309932474
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0871713868217 , Inc: 66.0375110254
Date: 2020-05-23, SDx: 0.085757836017 , Inc: 53.9726266149
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0827286913359 , Inc: 59.4207731275
Date: 2020-05-23, SDx: 0.090407080707 , Inc: 56.309932474
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0927899352759 , Inc: 53.5307656099
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0973174244948 , Inc: 48.3664606634
Date: 2020-05-23, SDx: 0.0809124356765 , Inc: 53.5307656099
```

Figura 8.8: Datos generados y enviados desde la BeagleBone.

A parte de los datos necesarios para el reconocimiento de actividad, se envían los datos de los tres ejes del acelerómetro. Estos datos se reciben por la aplicación y se visualizan en tiempo real (Fig 8.9). Esta figura representa los datos de una persona sentada.

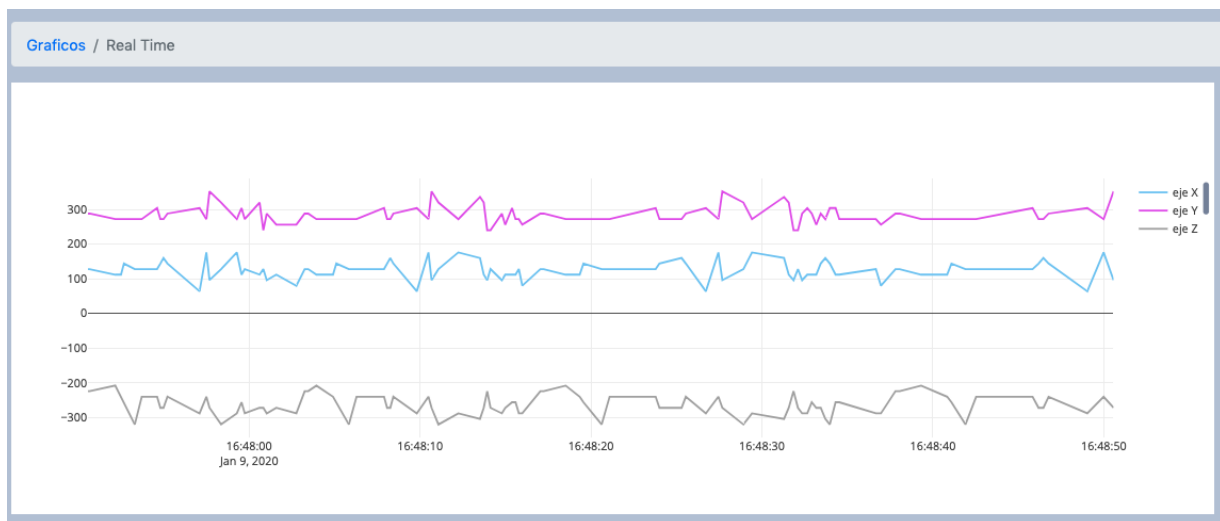


Figura 8.9: Grafico en tiempo real o streaming para la posición de sentado.

8.2.2. Clasificación de la capacidad física con el IBAA

Se coloca al paciente durante 1 hora el acelerómetro y se realiza 46 minutos, aproximadamente, de caminata y 9 minutos de reposo sentado. Una vez procesados se envían los datos a la aplicación para obtener el IBAA y los resultados de actividad.



Figura 8.10: Captura de pantalla de los resultados del día 1.

Para obtener los resultados se listan todos los pacientes y se selecciona el paciente creado para el caso de estudio (Fig 8.10). Con estos resultados se comprueba que un paciente con una dependencia severa para la mayoría de las actividades básicas de la vida diaria puede realizar o potenciar el área física con unos planes de salud adecuados a sus resultados.

8.2.3. Evolución del paciente

Otra aplicación de los resultados obtenidos con el acelerómetro es la posibilidad de analizar la evolución de un paciente en tratamiento rehabilitador. Se comparan los datos del inicio y final del tratamiento.

Se da de alta a un nuevo paciente que comienza un tratamiento rehabilitador y tras la valoración inicial obtenemos los siguientes resultados.

- Índice de Barthel: 60 puntos.
- Índice de Barthel adaptado al acelerómetro: 5 % del tiempo medido caminando y 94 % del tiempo sentado (Fig 8.11).



Figura 8.11: Captura de pantalla de los resultados del día 1.

Se realiza nueva valoración a las dos semanas obteniendo los siguientes resultados:

- Índice de Barthel: 60 puntos.
- Índice de Barthel adaptado al acelerómetro: 40 % del tiempo medido caminando y 52 % del tiempo sentado (Fig 8.12).

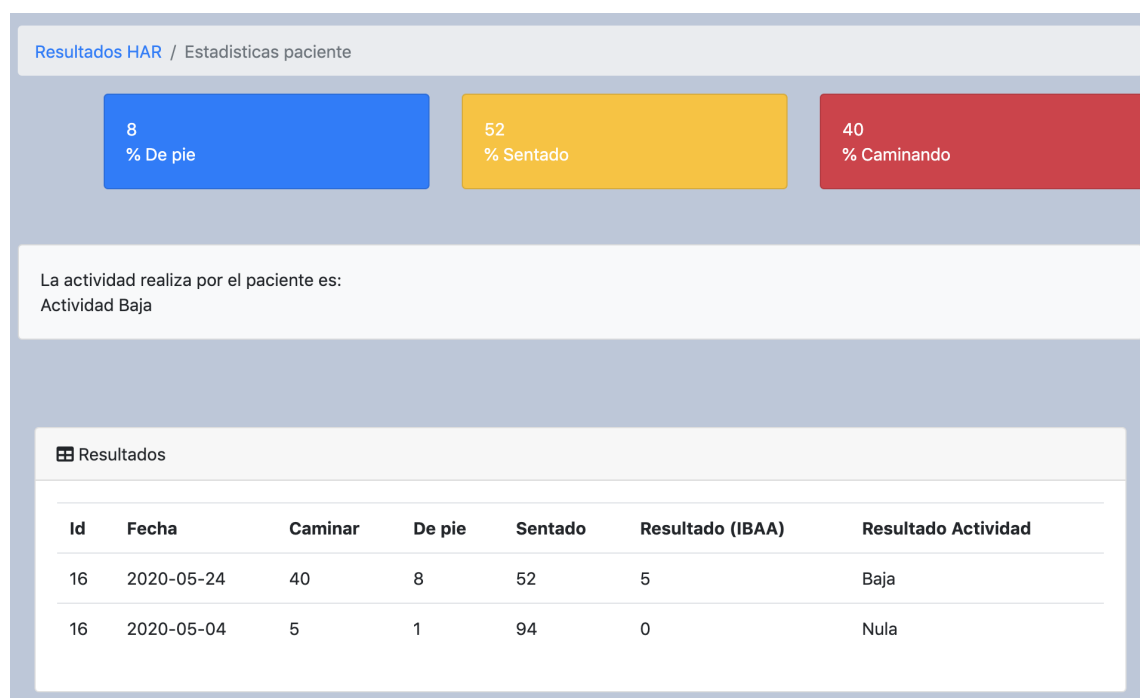


Figura 8.12: Captura de pantalla de los resultados 20 días después.

Como se puede apreciar con estos resultados el IB no se modifica tras dos semanas de tratamiento. Sin embargo, gracias a las mediciones del acelerómetro vemos que hay cambios en el área física (Fig 8.13).

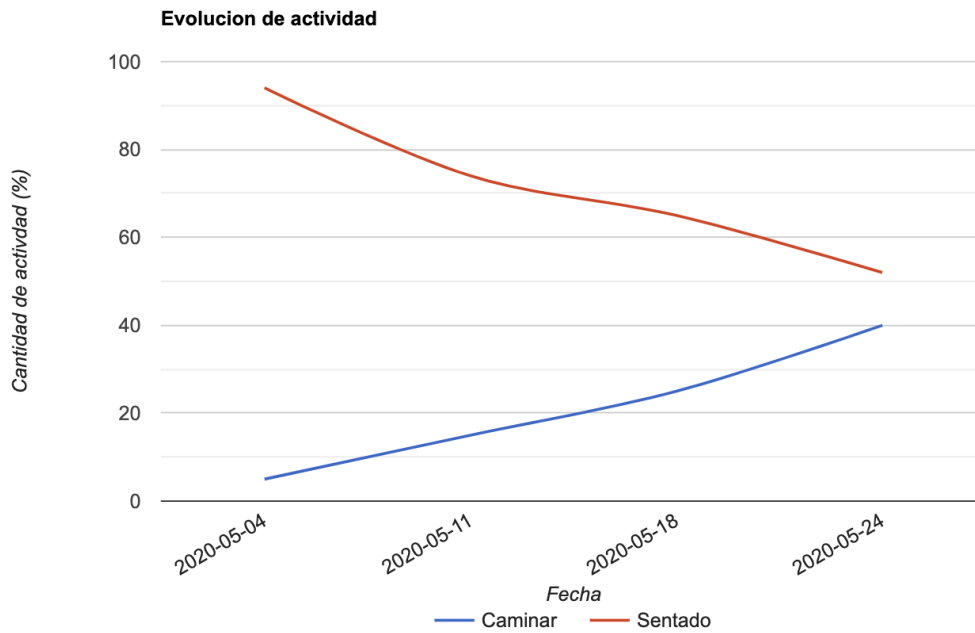


Figura 8.13: Captura de pantalla de la evolución del paciente.

De esta manera se ha rellenado un Índice de Barthel adaptado con los datos generados por el acelerómetro de forma correcta. Esto permite obtener unas medidas o datos sobre la evolución de un paciente.

Con estos resultados un profesional sanitario puede recomendar continuar con rehabilitación y/o modificar o adaptar el tratamiento con los resultados obtenidos del acelerómetro, mientras que el Índice de Barthel no sufre modificaciones.

Capítulo 9

Conclusiones y trabajo futuro

Se ha implementado un Índice de Barthel adaptado al acelerómetro que ayuda a mitigar las limitaciones de este gracias al reconocedor de actividades. Para adaptarlo se acudió a diversos artículos sobre el IB en la rehabilitación geriátrica. También se consultó con profesional sanitario experto en el sector para obtener la mejor manera de relacionar el HAR con el IB.

El proyecto comenzó con una investigación inicial de varios artículos médicos y de investigación sobre las diferentes formas de medir la actividad física; el principal desafío del reconocimiento de actividad es que se obtengan datos con un nivel de precisión deseado, esto resulta difícil sobre todo en persona de edad avanzada, cuyos movimientos no son los mismos que una persona joven, por tanto, más difíciles de medir. Para ello se utilizaron distintas métricas que mejor se adaptan a cada actividad, por ejemplo, la orientación de los ejes del acelerómetro y su colocación.

Junto con los desafíos de la recolección y manejo de datos, también hay desafíos en la comunicación. Los canales de comunicación a menudo limitan las tasas de envío de mensajes y no son fiables. En este escenario, la comunicación entre dispositivos se solucionó con

protocolos de comunicación simples y fiables que permiten una tasa. aceptable de envío de mensajes, las tecnologías de comunicación son parte integral del estudio de los dispositivos de IoT.

Los métodos heurísticos de ensayo y error para obtener los conocimientos adecuados dieron como resultado la solución al problema global y a cada parte por separado, logrando el objetivo deseado.

El conjunto de estas herramientas ayuda a evaluar la evolución de un paciente en rehabilitación, lo que facilita la vida al personal sanitario, pero también ayuda al propio paciente y sus familiares a ver como evoluciona. Para ello se desarrollan funciones para la gestión de los pacientes.

Con este proyecto se ha aprendido a utilizar una serie de herramientas y tecnologías que serán útiles para el futuro de paciente de edad avanzada y que podrán ser utilizadas por otras personas.

9.1. Trabajo Futuro

A lo largo de todo el proyecto se ha visto la posibilidad de aplicar mejoras que puedan dar una mejor funcionalidad a nuestro proyecto. Estas no se aplicaron por falta de tiempo o por estar fuera del alcance del proyecto. Las mejoras que aplicar son las siguientes:

- Reconocer una mayor numero de actividades, como puede ser subir y bajar escaleras, correr y andar en bicicleta para adaptarlas al IB.
- Utilizar herramientas que mejoren el rendimiento de la aplicación. Por ejemplo, almacenar los datos en crudo en una cuenta de almacenamiento y contar con cluster

distribuido para realizar los cálculos a través de un job y no desde la placa BeagleBone, que hace que el rendimiento y los tiempos de procesado caigan.

- Integración de plano social. Se cree que nuestra aplicación no solo la pueden utilizar facultativos médicos, sino que la pueden utilizar los propios pacientes o sus familiares, para observar como evolucionan.
- Para un mayor acierto en el reconocimiento de actividades, y sobre todo en el caso de añadir nuevas. Vemos muy útil la utilización de redes neuronales.
- Estudiar la posibilidad de colocar sistemas de monitoreo médicos, estos son más exactos que los dispositivos comerciales (por ejemplo pulseras o móviles) y nos permiten generar algoritmos adecuados a nuestro proyecto y obtener métrica de salida deseada, cosa que los dispositivos comerciales no permiten ³⁶.

Capítulo 10

Conclusions and future work

A Barthel Index adapted to the accelerometer has been implemented to help mitigate its limitations thanks to the activity recognizer. As reference to adapt it, various articles about the BI in geriatric rehabilitation were used. An expert healthcare professional in the sector was also consulted to obtain the best way to relate HAR to the BI.

The project began with an initial investigation of various medical and research articles on different ways of measuring physical activity; The main challenge of activity recognition is obtaining data with a desired level of precision. This is difficult especially in the elderly, whose movements are not the same as a young person. Therefore, it is more difficult to measure. To deal with this, different metrics were used that best adapt to each activity, for example, the orientation of the accelerometer axes and their placement.

Along with the challenges of data collection and management, there are also communication challenges. Communication channels often limit message delivery rates and are unreliable. In this scenario, communication between devices was solved with simple and reliable communication protocols that allow a rate. Acceptable messaging, communication technologies are an integral part of studying IoT devices.

The heuristic methods of trial and error to obtain adequate knowledge resulted in the solution to the global problem and to each part separately, achieving the desired objective.

The set of these tools helps to assess the evolution of a patient in rehabilitation, which makes life easier for healthcare personnel, but also helps the patient and his family members to see how he evolves. For this purpose, functions are developed for patient management.

With this project we have learned to use a series of tools and technologies that will be useful for the future of the elderly patient and that can be used by other people.

10.1. Future work

Throughout the entire project, we have seen the possibility of applying improvements that may give better functionality to our project. These were not applied due to lack of time or being outside of the scope of the project. The improvements to apply are the following:

- Recognizing a greater number of activities, such as climbing and descending stairs, running and cycling to adapt to the IB.
- Using tools that improve application performance. For example, storing raw data in a storage account and having a distributed cluster to perform calculations through a job and not from the BeagleBone board, which causes performance and processing times to drop.
- Social level integration. It is believed that our application can not only be used by medical professionals, but can be used by patients themselves or their families, to observe how they evolve.

- Using neural networks classifies for greater success in the recognition of activities, and especially in the case of adding new ones.
- Studying the possibility of placing medical monitoring systems, these are more accurate than commercial devices (for example wristbands or mobiles) and allow us to generate algorithms appropriate to our project and obtain the desired output metric, which commercial devices do not allow ³⁶.

Bibliografía

- [1] H3lis331dl 3-axis linear accelerometer. <https://github.com/ControlEverythingCommunity/H3LIS331DL/blob/master/Python/H3LIS331DL.py>.
- [2] Ib actividades básicas de la vida diaria. <http://alicante.san.gva.es/documents/4479657/4640869/Indice+Barthel.pdf>.
- [3] Nicolás Aguilar-Farías, Wendy J Brown, and GMEE Geeske Peeters. Actigraph gt3x+ cut-points for identifying sedentary behaviour in older adults in free-living environments. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(3):293–299, 2014.
- [4] Varios Autores. Beaglebone green. http://wiki.seeedstudio.com/BeagleBone_Green/.
- [5] Varios Autores. Grove - acelerómetro digital de 3 ejes (+- 400g). http://wiki.seeedstudio.com/Grove-3-Axis_Digital_Accelerometer-400g/.
- [6] Varios Autores. Raspberry pi 3. <http://www.raspberrypi.org>.
- [7] Varios Autores. Libreria scipy. [urlhttps://docs.scipy.org/doc/scipy-0.14.0/reference/generated/scipy.signal.butter.html](https://docs.scipy.org/doc/scipy-0.14.0/reference/generated/scipy.signal.butter.html), 2009.
- [8] Roger Bartlett. *Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns*. Routledge, 2007.
- [9] Máximo Bernabeu-Wittel, Jesús Díez-Manglano, D Nieto-Martín, N Ramírez-Duque, M Ollero-Baturone, Lucy Abella-Vázquez, Mariano Aguayo-Canela, Mónica Albert-Coll, Antonio Alemán, Jordi Aligué, et al. Simplificación de la escala de barthel para

- el cribado de fragilidad y dependencia severa en pacientes pluripatológicos. *Revista Clínica Española*, 219(8):433–439, 2019.
- [10] Ernesto García-Arilla Calvo. *Valoración geriátrica integral*, volume 4. Capítulo, 2013.
- [11] Kong Y Chen and JR DAVID R BASSETT. The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(11):S490–S500, 2005.
- [12] Kong Y Chen, Kathleen F Janz, Weimo Zhu, and Robert J Brychta. Re-defining the roles of sensors in objective physical activity monitoring. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(1 Suppl 1):S13, 2012.
- [13] Heeryon Cho and Sang Yoon. Divide and conquer-based 1d cnn human activity recognition using test data sharpening. *Sensors*, 18(4):1055, 2018.
- [14] C Collin, S Davis, V Horne, and DT Wade. Reliability of the barthel adl index. In *International Journal of Rehabilitation Research*, volume 10, pages 356–357. CHAPMAN HALL LTD 2-6 BOUNDARY ROW, LONDON, ENGLAND SE1 8HN, 1987.
- [15] Eling D De Bruin, Antonia Hartmann, Daniel Uebelhart, Kurt Murer, and Wiebren Zijlstra. Wearable systems for monitoring mobility-related activities in older people: a systematic review. *Clinical rehabilitation*, 22(10-11):878–895, 2008.
- [16] INE(Instituto Nacional de Estadística). Esperanza de vida al nacimiento según sexo, 2019.
- [17] Angelamaría Domínguez-Ardila and Juan Gabriel García-Manrique. Valoración geriátrica integral. *Atención familiar*, 21(1):20–23, 2014.
- [18] Irma HJ Everink, Jolanda CM van Haastregt, Sofie JM van Hoof, Jos MGA Schols, and Gertrudis IJM Kempen. Factors influencing home discharge after inpatient rehabilitation of older patients: a systematic review. *BMC geriatrics*, 16(1):5, 2016.

- [19] Steve R Fisher, James E Graham, Kenneth J Ottenbacher, Rachel Deer, and Glenn V Ostir. Inpatient walking activity to predict readmission in older adults. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 97(9):S226–S231, 2016.
- [20] Cory Gackenhaimer. *Introduction to React*. Apress, 2015.
- [21] Javier Gómez Pavón, Comunidad de Madrid Consejería de Sanidad, et al. El anciano frágil: detección, prevención e intervención en situaciones de debilidad y deterioro de su salud. 2006.
- [22] Bing He, Jiawei Bai, Vadim V Zipunnikov, Annemarie Koster, Paolo Caserotti, Brittney Lange-Maia, Nancy W Glynn, Tamara B Harris, and Ciprian M Crainiceanu. Predicting human movement with multiple accelerometers using movelets. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(9):1859, 2014.
- [23] Maria Hildebrand, Vincent T Van Hees, Bjorge Hermann Hansen, and ULF Ekelund. Age group comparability of raw accelerometer output from wrist-and hip-worn monitors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(9):1816–1824, 2014.
- [24] Tâm Huynh and Bernt Schiele. Analyzing features for activity recognition. In *Proceedings of the 2005 joint conference on Smart objects and ambient intelligence: innovative context-aware services: usages and technologies*, pages 159–163, 2005.
- [25] Sarah Kozey-Keadle, Amanda Libertine, Kate Lyden, John Staudenmayer, and Patty S Freedson. Validation of wearable monitors for assessing sedentary behavior. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(8):1561–1567, 2011.
- [26] Jörg Krause. *Introducing Bootstrap 4*. Springer, 2016.
- [27] Sandy C Loewen and Brian A Anderson. Reliability of the modified motor assessment scale and the barthel index. *Physical therapy*, 68(7):1077–1081, 1988.

- [28] Florence I Mahoney and Dorothea W Barthel. Functional evaluation: the barthel index: a simple index of independence useful in scoring improvement in the rehabilitation of the chronically ill. *Maryland state medical journal*, 1965.
- [29] Charles E Matthews, Kong Y Chen, Patty S Freedson, Maciej S Buchowski, Bettina M Beech, Russell R Pate, and Richard P Troiano. Amount of time spent in sedentary behaviors in the united states, 2003–2004. *American journal of epidemiology*, 167(7):875–881, 2008.
- [30] Charles E Matthews, Maria Hagströmer, David M Pober, and Heather R Bowles. Best practices for using physical activity monitors in population-based research. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(1 Suppl 1):S68, 2012.
- [31] Nancye M Peel, Sanjoy K Paul, Ian D Cameron, Maria Crotty, Susan E Kurrle, and Leonard C Gray. Promoting activity in geriatric rehabilitation: a randomized controlled trial of accelerometry. *PloS one*, 11(8), 2016.
- [32] Paul Ritchie. The security risks of ajax/web 2.0 applications. *Network Security*, 2007(3):4–8, 2007.
- [33] Anita Sainsbury, Gudrun Seebass, Aruna Bansal, and John B Young. Reliability of the barthel index when used with older people. *Age and ageing*, 34(3):228–232, 2005.
- [34] James F Sallis and Brian E Saelens. Assessment of physical activity by self-report: status, limitations, and future directions. *Research quarterly for exercise and sport*, 71(sup2):1–14, 2000.
- [35] Jennifer A. Schrack, Rachel Cooper, Annemarie Koster, Tamara B. Harris, Eric J. Shiroma, Joanne M. Murabito, W. Jack Rejeski, and Luigi Ferrucci. Assessing Daily Physical Activity in Older Adults: Unraveling the Complexity of Monitors, Measures, and Methods. *The Journals of Gerontology: Series A*, 71(8):1039–1048, 03 2016.

- [36] Jennifer A Schrack, Rachel Cooper, Annemarie Koster, Eric J Shiroma, Joanne M Murabito, W Jack Rejeski, Luigi Ferrucci, and Tamara B Harris. Assessing daily physical activity in older adults: unraveling the complexity of monitors, measures, and methods. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 71(8):1039–1048, 2016.
- [37] Surya Shah, Frank Vanclay, and Betty Cooper. Improving the sensitivity of the barthel index for stroke rehabilitation. *Journal of clinical epidemiology*, 42(8):703–709, 1989.
- [38] Carson Sievert, Chris Parmer, Toby Hocking, Scott Chamberlain, Karthik Ram, Marianne Corvellec, and Pedro Despouy. plotly: Create interactive web graphics via ‘plotly.js’. *R package version*, 4(1):110, 2017.
- [39] Jørgen Skotte, Mette Korshøj, Jesper Kristiansen, Christiana Hanisch, and Andreas Holtermann. Detection of physical activity types using triaxial accelerometers. *Journal of physical activity and health*, 11(1):76–84, 2014.
- [40] Nor Surayahani Suriani, Fadilla‘Atyka Nor Rashid, and Nur Yuzailin Yunos. Optimal accelerometer placement for fall detection of rehabilitation patients. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 10(2-5):25–29, 2018.
- [41] Richard P Troiano, David Berrigan, Kevin W Dodd, Louise C Masse, Timothy Tilert, and Margaret McDowell. Physical activity in the united states measured by accelerometer. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(1):181–188, 2008.
- [42] Richard P Troiano, James J McClain, Robert J Brychta, and Kong Y Chen. Evolution of accelerometer methods for physical activity research. *Br J Sports Med*, 48(13):1019–1023, 2014.
- [43] Coen AM van Bennekom, Frank Jelles, Gustaaf J Lankhorst, and Lex M Bouter. Responsiveness of the rehabilitation activities profile and the barthel index. *Journal of Clinical Epidemiology*, 49(1):39–44, 1996.

- [44] Wikipedia. Acelerómetro — wikipedia, la enciclopedia libre, 2018.
- [45] Wikipedia. Javascript — wikipedia, la enciclopedia libre, 2019. [Internet; descargado 23-julio-2019].
- [46] Wikipedia contributors. Plotly — Wikipedia , the free encyclopedia. url <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Plotly&oldid=888495262>. [En línea; accedido el 24 de julio de 2019].
- [47] Charles M Wylie and Betty K White. A measure of disability. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 8(6):834–839, 1964.

Apéndice A

Guia de instalación

Para facilitar al lector el uso de la aplicacion explicamos como instalarla.

Para usar la aplicación se debe cumplir con los siguientes requisitos:

- MQTT y Eclipse Paho: Contar con la version de MQTT 3.1 p 3.1.1, tanto en la placa BeagleBone como en el equipo receptor de mensajes. Para ello instalamos la última versión de Eclipse Paho para Paython. `pip install paho-mqtt`
- XAMPP: Versión 7.1.27. Para la gestión de servidores, en concreto el servidor Apache y MySQL, para la gestión de base de datos.
- Navegador web compatible con React y JavaScript.

A.1. Instalación en microcontrolador

Conectamos la BeagleBone al PC y en el navegador pegamos en enlace:

`http://beaglebone.local:3000/`.

Una vez dentro creamos un archivo python y copiamos el código de configuración de la pagina ¹.

A continuacion agregamos el código de calculo de la normal, ángulos e inclinaciones explicado en el capítulo 4.

A.2. Instalación base de datos

Para la creación de la base de datos, lanzamos los servidores de Apache y MySQL. Para ello abrimos el panel de apache y seleccionamos la opción *Start* en ambos. Véase figura A.1.

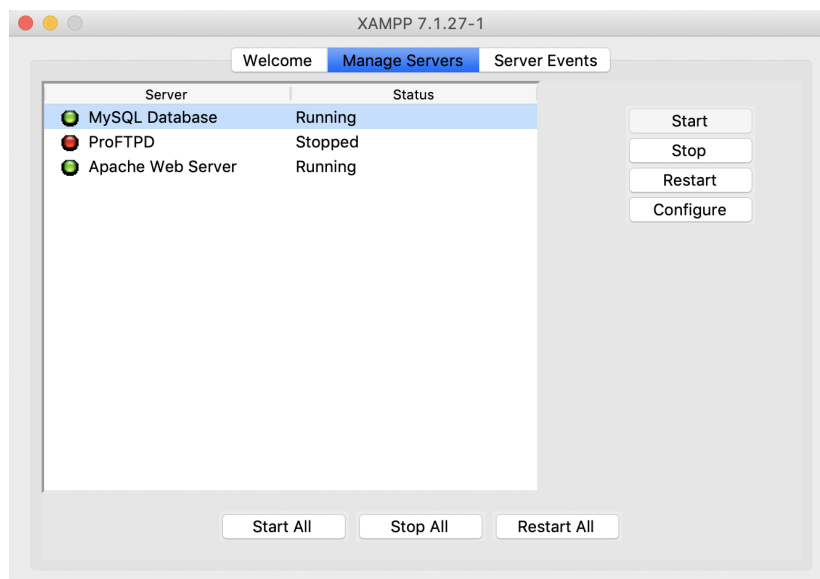


Figura A.1: XAMPP Manage Servers.

- Abrimos la aplicación phpMyAdmin desde el navegador copiando la siguiente dirección: <http://127.0.0.1/phpmyadmin/index.php>. Otra alternativa es abrir el panel de XAMPP y seleccionar "Go to Application". Se abra una página principal de XAMPP en el navegador predeterminado. En el menú seleccionamos phpMyAdmin.

- Creamos una nueva base de datos llamada 'tfg' e importamos las siguiente consulta para la creación de tabla paciente y usuarios:

```
CREATE TABLE 'pacientes' (
    'id' int(11) NOT NULL,
    'nombre' varchar(40) NOT NULL,
    'apellidos' varchar(40) NOT NULL,
    'dni' varchar(40) NOT NULL,
    'fechaNacimineto' varchar(40) NOT NULL,
    'sexo' varchar(40) NOT NULL,
    'notasMedicas' varchar(100) NOT NULL,
    'IndiceBarthel' varchar(40) NOT NULL,
    'idMedico' int(11) NOT NULL
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8mb4;
```

```
CREATE TABLE 'usuarios' (
    'id' int(11) NOT NULL,
    'nombreUsuario' varchar(40) NOT NULL,
    'nombre' varchar(40) NOT NULL,
    'apellidos' varchar(40) NOT NULL,
    'numeroColegiado' varchar(40) NOT NULL,
    'password' varchar(80) NOT NULL,
    'rol' varchar(10) NOT NULL
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8mb4;
```

```
INSERT INTO 'usuarios'
('id', 'nombreUsuario', 'nombre',
'apellidos', 'numeroColegiado', 'password', 'rol')
VALUES (7, 'medico@medico.com', 'Agustin', '', '',
'$2y$10$iGOlod/W0Bz...Bz0i/ZhwwVAHbZx1k2', 'user');
```

```
ALTER TABLE 'pacientes'
ADD PRIMARY KEY ('id');
```

```
ALTER TABLE 'usuarios'
ADD PRIMARY KEY ('id');
```

- Ya se puede acceder a la aplicación localmente desde un navegador, accediendo a la direccion: <http://localhost:80/<Nombre Aplicacion>>



Figura A.2: XAMPP phpMyAdmin.

Apéndice B

Guia de utilización

Para la correcta utilización se recomiendan los siguientes pasos.

B.1. Aplicación

Para poder acceder a las funciones de la aplicación debemos registrarnos en la misma. Por defecto el usuario con todos los privilegios que se presenta en esta entrega es:

- medico@medico.com
- Password: 12345

Una vez configurada la aplicación, procemos a dar de alta un nuevo paciente, rellenando el formulario correctamente.

B.2. Recnocimiento HAR

Para comenzar el reconocimiento de actividad, nos colocamos la placa, junto con el acelerómetro y su batería.

Ejecutamos el código en la placa, explicado en el apendice anterior.

Ya podemos realizar cualquiera de las tres actividades para su envío hacia la aplicación y su posterior analisis.

B.3. Envío y recepción de datos

Para realizar en envío de mensajes se utiliza el protocolo publicación/suscripción de MQTT, explicado en la capa de red de la arquitectura. A continuación, se explica como se realiza la publicación y suscripción para la comunicación entre capas.

B.3.1. Publisher

Para crear el publicador, se importa la biblioteca Paho, previamente instalada con el comando *pip install paho-mqtt*, y se crea un cliente. Luego se conecta con el broker, en este caso test.mosquitto.org, y se publica el mensaje. Por último, en caso de ser necesario, se realiza la desconexión. A continuación, se muestra un fragmento de código de ejemplo de lo que sería un publicador hecho en Python.

Listing B.1: Python

```
import paho.mqtt.client as mqtt

# This is the Publisher
```

```

client = mqtt.Client()
client.connect("test.mosquitto.org")
client.publish("HAR/id-paciente", <mensaje>);
client.disconnect();

```

B.3.2. Subscriber

Por otro lado, es necesario crear el receptor del mensaje (suscriptor). En este caso se crea un nuevo cliente, con un identificador único y con el mismo broker. Se realiza la conexión llamando al método *connect* de la biblioteca Paho, importada previamente. Una vez realizada la conexión se suscribe al cliente creado al tópico donde se encuentra el mensaje, en este caso *"pruebas/iot_tutorial/from_eagle"*, quedándose a la escucha de entradas de nuevos mensajes.

A continuación, el código de ejemplo realizado en JS.

Listing B.2: JavaScript

```

// This is the Subscriber

client = new Paho.MQTT.Client("test.mosquitto.org", 8080, clientID);

client.connect({ onSuccess: myClientConnected });

function myClientConnected() {
    client.subscribe("HAR/id-paciente/id-medico");
}

function myMessageArrived(message) {
    // Get the payload
    var messageBody = message.payloadString;
};

client.onMessageArrived = myMessageArrived;

```

En el código anterior se ha creado una función para realizar la conexión y otra para recibir los mensajes. Dichas funciones han sido extendidas para el caso real del proyecto.